GESTAMB, S.L.L.

Campus Montilivi

17071 Girona— Spain

Tef. 606 934 523 -Fax. 972 000 000

gestamb@gmail.com

Estudi de la viabilitat de l'aprofitament de biomassa residual amb implantació d'una planta de cogeneració al sector del Pla de Baix de Domeny

AUTORES

Marta Adame Díez

Anna Ferrer Gui

Estefania García Pérez

COORDINACIÓ

Tutor docent

Francesc Còrdoba i Monturiol

Vist i plau del tutor tècnic

Dr. Miquel Rigola i Lapeña

Dep. Ciències Ambientals – LEQUIA

Universitat de Girona

Girona, 30 de juliol de 2010

AGRAÏMENTS

Volem agrair la col·laboració desinteressada a les diverses persones que han ajudat en l'elaboració del present estudi.

Cal esmentar especialment el nostre tutor tècnic, Dr. Miquel Rigola i Lapeña, per la paciència i la dedicació que ens ha brindat, sobretot en els moments més crítics del desenvolupament del projecte. Com també al tutor docent, Dr. Francesc Còrdoba i Monturiol, pel seu suport.

Agraïm la participació del tècnic en medi ambient de l'Ajuntament de Girona, Jordi Figueres i Bosch, el qual ens ha permès fer un estudi més real i aplicable a una zona en concret com és el Pla de Baix de Domeny.

També volem donar les gràcies a experts externs de ITISA,S.L., SBI,S.L. i Marcel Navarro i Fills,S.L., que ens han facilitat i ajudat en el desenvolupament de l'estudi tècnic, els quals han actuat d'intermediaris amb l'empresa Turboden i Sugimat, a més de compartir amb nosaltres els seus coneixements en el sector de la biomassa i la cogeneració.

I per últim agrair la paciència i el suport de la gent que ens envolta.

PRÒLEG

La problemàtica energètica actual als països desenvolupats es resumeix en garantir el subministrament d'energia, reduir la dependència de l'exterior i conservar el medi ambient.

Els sistemes de cogeneració contribueixen a totes tres fites, essent sistemes d'elevada eficiència, que estalvien al país un consum d'energia primària i emissions de gasos d'efecte hivernacle, amb un alt grau de disponibilitat i que eviten pèrdues a la xarxa de transport i distribució.

Els productes del procés transformador de l'energia mitjançant cogeneració són, d'una banda l'electricitat, i d'altra banda l'energia tèrmica residual.

La cogeneració és un tipus de procés de transformació de l'energia que es dimensiona per a subministrar la calor útil demandada en un o més centres propers, fet que es tradueix a la pràctica, en centrals de potència elèctrica relativament petita.

L'estalvi d'energia primària que suposa la cogeneració, segons la *Directiva Europea 2004/8/CE*, es basa en la demanda de calor útil, per tant, la determinació del potencial de cogeneració s'ha de fer en base a aquesta demanda.

Al nostre país, les centrals de cogeneració es troben entre els 5 i els 10 MW de potència elèctrica. La petita mida i ubicació a polígons o centres de serveis fa que els sistemes de cogeneració estiguin connectats a les xarxes elèctriques de distribució, en general a una tensió d'entre 1 i 36kv. És a dir, són petites centrals connectades a les mateixes xarxes on es connecten els edificis. El gran avantatge que això suposa és que no és necessari transportar l'electricitat a grans distàncies, així que els sistemes estalvien una mitjana del 6% d'energia elèctrica en concepte de pèrdues de transport i distribució. En el cas de sistemes de cogeneració a ciutats i connectats a xarxes de baixa tensió (<1 kV) aquests estalvis poden ser de l'ordre del 13%.

Així doncs, els sistemes de cogeneració produeixen energia a partir d'un mateix combustible. El gas natural és l'energia primària més emprada per aquest tipus de centrals, no obstant, també es poden utilitzar fonts d'energies renovables i residuals com biomassa o residus que s'incineren o es dipositen en dipòsits controlats.

La gran generació de biomassa residual que es produeix i es desaprofita en aquest país podria arribar a ser una font d'energia molt important en el futur, en comptes d'un producte de rebuig que s'ha de gestionar.

Les necessitats d'energia tèrmica (aigua calenta sanitària i calefacció) al sector del Pla de Baix de Domeny, de 1.219 habitatges, seran de 23.312.098kWht. Aquest estudi pretén generar aquesta energia a partir d'una central de cogeneració que funcioni amb biomassa residual. L'avantatge d'emprar un cicle de cogeneració és l'aprofitament de la calor residual de la generació d'energia elèctrica, en aquest procés obtindrem electricitat que es vendrà a la xarxa principal de distribució, obtenint un benefici econòmic, i la calor s'emprarà per abastir la zona.

La planta de cogeneració projectada funciona amb Cicle de Rankine Orgànic. Es tracta d'un cicle on la biomassa es crema a la caldera i es genera energia, utilitzant un oli orgànic en lloc d'aigua.

El fet d'emprar biomassa residual té l'objectiu de col·laborar en la reducció de l'ús dels combustibles fòssils, amb totes les seves conseqüències, i també donar sortida als residus sobretot de fusta i poda que actualment s'acumulen als gestors de residus.

TAULA DE CONTINGUT

PREÀMBUL 12

ACRÒNIMS 14

1 INTRODUCCIÓ 16

1.1 OBJECTIUS 16

1.2 ANTECEDENTS 18

1.3 JUSTIFICACIÓ 20

1.4 METODOLOGIA 21

2 ESTUDI URBANÍSTIC DEL PLA DE BAIX DE DOMENY 22

2.1 Situació del Pla de Baix de Domeny 22

2.2 Distribució dels habitatges 23

2.3 Disseny dels edificis 23

2.4 Proposta de distribució urbanística energèticament eficient 25

2.5 Consum de calefacció dels habitatges i ACS 27

2.6 Climatologia de l'àrea d'estudi 29

3 BIOMASSA ENERGÈTICA 25

3.1 Font de la biomassa 25

3.2 Situació energètica de la biomassa 27

3.3 Morfologia de la biomassa com a combustible 34

3.4 Logística fins el consumidor d'estella 38

3.5 Costos i preu de mercat de l'estella 42

3.6 Preu estella de residus de fusta respecte estella forestal 42

3.7 Biomassa respecte altres combustibles 43

4 APLICACIONS ENERGÈTIQUES DE LA BIOMASSA 45

4.1 Processos de generació termoelèctrica 45

4.2 Estudi teòric de la cogeneració 49

4.3 Sistemes de cogeneració 49

4.4 Avantatges de la cogeneració 61

4.5 Xarxes de calor distribuïda (District heating) 62

5 MARC NORMATIU DE LA COGENERACIÓ AMB BIOMASSA 63

5.1 Definició de cogeneració 63

5.2 Instal·lacions híbrides 67

5.3 Estructura de la retribució 67

5.4 Tarifes regulades i primes 69

5.5 Actualitzacions i revisió de preus i primes variables per instal·lacions de biomassa 71

5.6 Límits màxims i mínims 72

6 ESTUDI D'ALTERNATIVES AL SECTOR PLA DE BAIX DE DOMENY 73

6.1 Cogeneració amb gas natural 73

6.2 Cogeneració amb biomassa 78

7 ANÀLISI DE VIABILITAT ECONÒMICA DE LES ALTERNATIVES 87

7.1 Comparació dels costos dels sistemes 87

7.2 Anàlisi financera de la cogeneració amb biomassa 89

8 CONCLUSIONS 91

SÍNTESI 93

GLOSSARI 97

BIBLIOGRAFIA 101

ANNEX 105

ANNEX 1 : CODIFICACIÓ DELS RESIDUS DE FUSTA I PODA 107

ANNEX 2 : CÀLCUL VENDA ELECTRICITAT 110

ANNEX 3 : CÀLCUL DE LA TAXA INTERNA DE RENDIBILITAT 113

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Mapa de la situació del Pla de Baix de Domeny respecte l'àrea urbana de Girona [Font: PPU].....22

Figura 2. Plànol de zonificació del Pla de Baix de Domeny [Font: PPU].....23

Figura 3. Assolellament segons orientació [Font: PPU].....26

Figura 4. Consums tèrmics dels habitatges [Font: ICAEN].....28

Figura 5. Diagrama climàtic de Girona [Font: Atles Climàtic de Catalunya].....29

Figura 6. Cicle del CO_2 [Font Natural 21].....25

Figura 7. Biomassa susceptible de ser utilitzada energèticament [Font: Elaboració pròpia] .26

Figura 8. Exemple d'un procés de transformació del residu de fusta o poda fins el transport de l'estella al consumidor [Font: Elaboració pròpia].....41

Figura 9.Comparativa preus biomassa respecte altres combustibles [Font: EDER].....43

Figura 11. Esquema del procés de gasificació [Font:EDER].....47

Figura 12. Esquema del procés de piròlisi [Font:EDER].....48

Figura 12. Cicle simple amb turbina de gas. [Font: Gas Natural].....52

Figura 13. Cicle amb motor alternatiu. [Font: Gas Natural].....53

Figura 15. Cicle combinat a contrapressió. [Font: Gas Natural].....54

Figura 16. Cicle amb turbina de vapor. [Font: Gas Natural].....56

Figura 17. Cicle de Rankine convencional. [Font: EDER].....58

Figura 18. Esquema ORC [Font: Euroheat&Power. Procés a Linz, Àustria].....59

Figura 19. Esquema planta de cogeneració amb gas natural [Font: Elaboració pròpia].....74

Figura 21.Exemple de planta CHP de biomassa per diferents aplicacions [Font: Turboden] 78

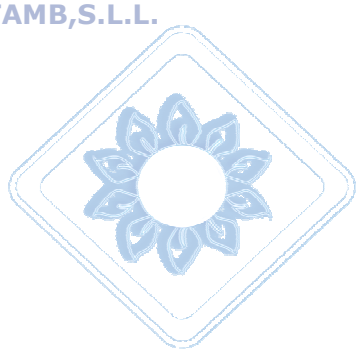
Figura 20. Esquema funcionament Turboden ORC [Font: Turboden].....78

Figura 22. Caldera de cogeneració ORC [Font: Sugimat].....80

Figura 22. Diagrama del cicle ORC [Font: Elaboració pròpia].....81

Figura 24. Gràfic de la taxa interna de rendibilitat (TIR) [Font: Elaboració pròpia].....90

Figura 25. Gràfic del TIR incrementant el preu del Gas [Font: Elaboració pròpia].....90



ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Projectes Turboden amb biomassa [Font: Turboden] 19

Taula 2. Dades de població [Font: PPU del Pla de Baix de Domeny] 23

Taula 3. Necessitats dels habitatges . [Font: ICAEN] 28

Taula 4. Dades meteorològiques de Girona [Font: Atles climàtic de Catalunya] 29

Taula 5. Codificació CER [Font: Arc-cat] 27

Taula 6. Dades de seguiment del Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015. [Font: ICAEN (28/04/2010)] 28

Taula 7. Dades de seguiment del Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015. [Font: ICAEN] 28

Taula 9. Dades extretes de l'ARCAT. [Font: Elaboració pròpia].....31

Taula 10. Dades extretes de l'Arc-cat. Recollida selectiva en àrees d'aportació i porta a porta. [Font: Elaboració pròpia] 32

Taula 8. Reglament 574/5004/CE de 23 de febrer, referent a residus 31

Taula 11. Biomassa aprofitable per l'elaboració d'estella com a combustible [Font: Transportista i Gestor de residus Recuperacions Marcel Navarro i Fills, S.L] 32

Taula 12. Residus de fusta utilitzables com a font d'energia [Font: Elaboració pròpia] 33

Taula 13. Residus de poda utilitzables com a font d'energia [Font: Elaboració pròpia].....33

Taula 14. Residus de fusta i poda utilitzables com a font d'energia [Font: Elaboració pròpia] 33

Taula 15. Classificació del pèl·let [Font: Observatori de la biomassa] 35

Taula 16. Classificació de l'estella segons UNE-CEN/TS 14961 i ÖNORM 7133 [Font: Observatori de la biomassa] 37

Taula 17. Classificació estella segons granulometria. UNE-CEN/TS14961 [Font: Observatori de la biomassa] 37

Taula 18. Classificació estella segons granulometria. ÖNORM 7133 [Font: Observatori de la biomassa].....37

Taula 19. Valors de referència de diferents paràmetres de l'estella, pèl·let i briqueta [Font: Observatori de la biomassa] 38

Taula 20. Costos aproximats per obtenir l'estella de residus de fusta i poda, i preu de mercat [Font: Elaboració pròpia] 42

Taula 21. Preus segons enquestes realitzades als productors d'estella [Font: EDER].....42

Taula 22. Preus pèl·let d'origen forestal [Font: EDER].....43

Taula 23. Equivalències energètica de biomassa a gasoil [Font: EDER] 43

Taula 24. Agents gasificants i PCI del gas de síntesis obtingut [Font: EDER] 46

Taula 25. Estalvis estàndards d'energia primària amb el diferents sistemes de cogeneració. [Font: ICAEN] 56

Taula 26. Tipus d'energia calorífica produïda pels diferent sistemes de cogeneració. [Font: ICAEN] 57

Taula 27. Rendiments elèctrics Cicle de Rankine [Font: Coronas, A.] 58

Taula 28. Avantatges i inconvenients dels diferents sistemes de cogeneració. [Font: ICAEN] 60

Taula 29. Nivells mínims d'eficiència per formar part del règim especial [Font: RD 616/2007] 66

Taula 30. Valors del coeficient de bonificació o penalització segons el factor de potència [Font: ICAEN] 68

Taula 31. Exemples de valors del Cef en c€/kWh per a un Cmp = 20 €/MWhPCS [Font: Biomassa, producció elèctrica i cogeneració. IDAE] 69

Taula 32. Retribució de l'electricitat produïda per cogeneracions amb diferents tipus de biomassa [Font: Article 35 apartat 3 (a.1.3) del RD 662/2007] 70

Taula 33. Retribució de l'electricitat produïda per instal·lacions que utilitzen diferents tipus de biomassa dins la categoria b), grups b.6, b.7 i b.8: biomassa i biogàs [Font: Article 36 del RD 661/2007] 71

Taula 34. Balanç energètic de la cogeneració amb motor de gas natural [Font: ICAEN] 75

Taula 35. Balanç energètic de cogeneració amb ORC i biomassa [Font: Elaboració pròpia] 83

Taula 36. Comparació econòmica dels diferents sistemes energètics [Font: Elaboració pròpia] 87

Taula 37. Compte d'explotació de la planta de cogeneració amb biomassa [Font: Elaboració pròpia] 89

Taula 38. Llistat de residus amb el codi 0301. [Font: ARCAT] 107

Taula 39. Llistat de residus amb el codi 0303. [Font: ARCAT] 107

Taula 40. Llistat de residus amb el codi 1501. [Font: ARCAT] 107

Taula 41. Llistat de residus amb el codi 1702. [Font: ARCAT] 108

Taula 42. Llistat de residus amb el codi 1912. [Font: ARCAT] 108

Taula 43. Llistat de residus amb el codi 2001. [Font: ARCAT] 108

Taula 44. Llistat de residus amb el codi 2003. [Font: ARCAT] 108

Taula 45. Llistat de residus amb el codi 2002. [Font: ARCAT] 109

Taula 46. Retribució de l'electricitat produïda per instal·lacions que utilitzen diferents tipus de biomassa dins la categoria b), grups b.6, i b.8: [Font: Article 36 del RD 661/2007] 110

Taula 47. Retribució de l'electricitat produïda per cogeneracions amb diferents tipus de biomassa. [Font: Article 35 apartat 3 (a.1.3) del RD 661/2007] 111

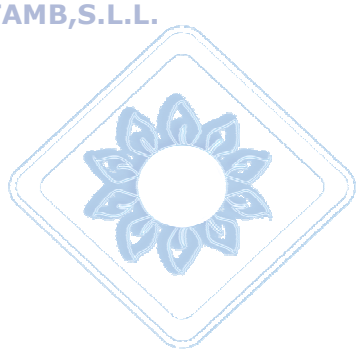
PREÀMBUL

En aquest document s'estudia la viabilitat de la implantació d'una planta de cogeneració a la zona del Pla de Baix de Domeny de Girona.

L'objectiu principal és donar sortida al residu de fusta i poda que es produeix a la comarca del Gironès, principalment dels municipis més propers a l'àrea d'implantació. Alhora que se'n treu un rendiment, emprant-lo com a combustible per a la producció d'energia elèctrica i aprofitant el calor residual que es desprèn d'aquesta producció per abastir, a la futura urbanització, d'aigua calenta sanitària i calefacció.

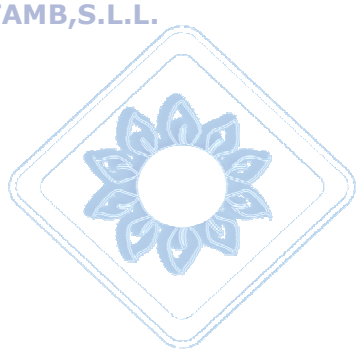
La principal obligació d'aquesta planta serà l'abastiment d'energia tèrmica, ja que l'electricitat que es generi s'abocarà directament a la xarxa principal de distribució, obtenint-ne un benefici econòmic que contribuirà al rendiment econòmic de la planta projectada.

Als primers apartats del projecte s'estudien els temes relacionats amb el planejament urbanístic de la zona del Pla de Baix de Domeny, la biomassa i el concepte i formes de cogeneració per tal de, en un segon apartat, aplicar els coneixements obtinguts a la futura planta de cogeneració.



ACRÒNIMS

ACS	Aigua Calenta Sanitària
AAEE	Associació d'Autoproductors d'Energia Elèctrica
AA/PaP	Àrea d'aportació/porta a porta
AT	Amplitud tèrmica. Diferència entre la temperatura mitjana (Tmm) dels Mesos més càlid i més fred
b.h.	Base humida
b.s.	Base seca
dG=0	Període sense glaçada
dPPT	Número mitjà de dies de pluja
dG	Número mitjà de dies de glaçada
CER	Catàleg Europeu de Residus
CHP	Combined Heat & Power
EDER	Estratègia pel Desenvolupament de les Energies Renovables
EM	Estació meteorològica
GEH	Gasos d'Efecte Hivernacle
Gs	Període de glaçada segura
Gp	Període de glaçada probable
ICAEN	Institut Català de l'Energia
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
NPPT	Número d'anys de la sèrie climàtica per la variable precipitació
NT	Número d'anys de la sèrie climàtica per a la variable temperatura
ORC	Cicle Orgànic de Rankine
PPTm	Precipitació mitjana
PPTx24h	Precipitació màxima en 24 hores
PCI	Poder Calorífic Inferior
PCS	Poder Calorífic Superior
RD	Reial Decret
REE	Rendiment Elèctric Equivalent
Tmm	Temperatura mitjana
Txx	Temperatura màxima absoluta
Txxm	Temperatura mitjana de les màximes absolutes
Txm	Temperatura màxima mitjana
Txm C	Temperatura màxima mitjana del mes més càlid
Tnm	Temperatura mitjana mínima
Tnm F	Temperatura mínima mitjana del mes més fred
Tnn	Temperatura mínima absoluta



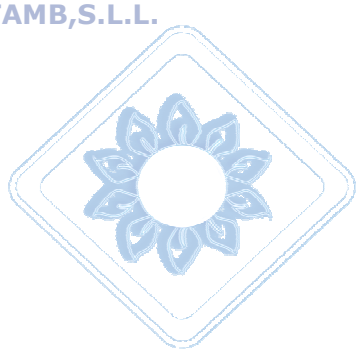
1 INTRODUCCIÓ

1.1 OBJECTIUS

L' objectiu principal és realitzar l'estudi de la viabilitat de la implantació d'una planta de cogeneració amb energia obtinguda a partir dels residus de la biomassa de fusta i poda, responent a la demanda energètica de la futura zona urbana de Domeny.

Els objectius que deriven d'aquest estudi són les valoracions dels següents aspectes:

- Emprar una font d'energia renovable reutilitzant el residu de fusta i poda, per tal de:
    - Minimitzar l'ús de recursos no renovables per a la producció d'energia i diversificar el proveïment d'aquesta energia.
    - Aprofitar aquest residu en una planta de cogeneració.
- Obtenir energia elèctrica, per subministrar a la xarxa.
- Aprofitar l'energia tèrmica obtinguda, en forma d'aigua calenta sanitària o climatització, per proveir els nous habitatges de la zona de Domeny, substituint el consum de gas natural d'origen fòssil no renovable.



1.2 ANTECEDENTS

1.2.1 Energies renovables

La *Directiva 2009/28/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'abril de 2009*, estableix que el control del consum d'energia a Europa i la major utilització d'energia procedent de fonts renovables, juntament amb un estalvi i una major eficiència energètica, constitueixen una part important de les mesures necessàries per reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) i per a complir el Protocol de Kyoto de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre Canvi Climàtic i altres compromisos comunitaris i internacionals, amb vistes a la reducció de les emissions de GEH més enllà del 2012.

Aquests factors poden desenvolupar un paper important per fomentar la seguretat del proveïment energètic, el desenvolupament tecnològic i la innovació, oferir oportunitats laborals i desenvolupament regional.

Tot seguit, *la Directiva 2009/29/CE, de 23 d'abril de 2009*, per la qual es modifica la *Directiva 2003/87/CE* per perfeccionar i ampliar el Règim comunitari de comerç de drets d'emissió de GEH, forma part de l'anomenat "paquet verd" que la Unió Europea està duent a terme, des de l'any 2007 per complir el compromís 20/20/20. Es refereix a un triple objectiu per a l'any 2020 pel qual s'ha d'aconseguir que el 20% del consum d'energia final provingui de fonts renovables, que es redueixin les emissions de GEH en un 20% (respecte a les de 1990) i que es produeixi una millora de l'eficiència energètica del 20% pel que fa al consum tendencial.

1.2.2 Cogeneració

El RD 616/2007, d'11 de maig de 2007, sobre foment de la cogeneració d'alta eficiència sobre la base de la demanda de calor útil és una prioritat per a la Unió Europea i els seus estats membres, tenint en compte els beneficis potencials de la cogeneració pel que es refereix a l'estalvi d'energia primària, l'eliminació de pèrdues a la xarxa i la reducció de les emissions, en particular de GEH. A més, l'ús eficaç de l'energia mitjançant la cogeneració, contribueix eficaçment a la seguretat i diversificació del proveïment d'energia i a la situació competitiva de la nostra indústria.

En execució dels objectius esmentats, es va promulgar la *Directiva 2004/8/CE del Parlament Europeu i del Consell, d'11 de febrer de 2004*, relativa al foment de la cogeneració sobre la base de la demanda de calor útil al mercat interior de l'energia i per la qual es modifica la *Directiva 92/42/CEE*. D'altra banda, la *Llei 54/1997, de 27 de novembre de 1992*, del sector elèctric, té com a fita bàsica establir la regulació del sector elèctric amb els objectius de garantir el subministrament elèctric i la seva qualitat al mínim preu possible, sense oblidar la protecció del medi ambient.

El present *RD 616/2007,* preveu l'anàlisi i avaluació del potencial nacional de cogeneració d'alta eficiència, de les barreres que dificulten el seu desplegament i de les mesures necessàries per facilitar l'accés a la xarxa d'unitats de cogeneració i centrals de microgeneració i cogeneració a petita escala, alhora que es defineixen els mètodes de determinació de l'estalvi energètic per a les unitats de cogeneració d'alta eficiència.

A Espanya, la generació elèctrica, es desglossa en dos grans grups: el *Règim ordinari* i el *Règim especial*. El Règim especial acull els productors d'energia elèctrica (potències inferiors a 50 MW) a partir d'instal·lacions de cogeneració, d'energies renovables, de residus i de tractament de residus, mentre que el Règim ordinari s'associa a la resta de centrals productores, en general amb potències instal·lades superiors a 50 MW.

Aquest Règim especial es troba actualment regulat pel *RD 436/2004, de 12 de març de 2004*, pel qual s'estableix la metodologia per actualitzar i sistematitzar el règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica de Règim especial.

Les principals característiques d'aquest *RD* són:

- Agrupa totes les formes de producció elèctrica que aporten energia addicional i beneficis ambientals en comparació amb les centrals de generació convencionals. Aquestes instal·lacions es divideixen en 4 grups: Cogeneració, energies renovables, residus i tractament de residus.
- Permet l'accés directe a la xarxa i la cessió, quan sigui possible, dels excedents elèctrics.
- Estableix un règim econòmic que implica una remuneració addicional per a vendre l'electricitat que generin aquestes instal·lacions.

L'Associació d'Autoproductors d'Energia Elèctrica (AAEE), estima que el potencial de cogeneració a Espanya, podria arribar a ser de 11.000 MW, tot i que el Govern, recentment ha establert en 9.000 MW l'objectiu per al 2011.

Per al present projecte s'ha escollit una tecnologia innovadora basada en l'aprofitament de biomassa per a la generació d'energia. Alguns exemples d'aplicació d'aquest tipus de tècnica d'aprofitament de biomassa a la Unió Europea que han estat duts a terme amb maquinària de l'empresa Turboden[1] són els següents. El total de plantes instal·lades per aquests fabricants és de 142, que equival a 144.590kWe totals.

LOCALITZACIÓ	TIPUS DE PLANTA	TIPUS D'ÚS
Italia, Abbiategrasso	Biomassa	Pellets i *district heating*[2]
Austria, Admont	Biomassa	Refrigeració / Climatització
Alemanya, Aichach	Biomassa	*District heating*
Suïssa, Biere	Biomassa	*District heating*
Anglaterra, Girvan - Scotland	Biomassa	Pellets
Espanya, Tarazona de la Mancha	Biomassa	Pellets
Austria, Lienz	Biomassa	*District heating*

Taula 1. Projectes Turboden amb biomassa [Font: Turboden]

1 Turboden. El sistema de cogeneració utilitzat per aquest projecte pertany a aquesta empresa.

[2] *District heating* també anomenat *xarxa de calor distribuïda.*

1.3 JUSTIFICACIÓ

El principal motiu d'elaborar aquest projecte, és la necessitat de complir els objectius energètics especificats al *Pla d'Energia de Catalunya 2006-2015* i al "*Plan Nacional de Energias Renovables 2005-2010",* que estan directament relacionats amb les limitacions sobre l'emissió de gasos d'efecte hivernacle que es deriven del Protocol de Kyoto. Així l'aprofitament de les fonts energètiques renovables és una prioritat del Govern de la Generalitat de Catalunya, fonamentalment per els següents motius:

Utilitzar una font d'energia renovable i reduir la dependència dels combustibles fòssils. Els combustibles fòssils són una font d'energia no renovable i actualment la seva utilització és la més estesa i emprada. S'ha calculat que el ritme actual de producció d'aquests combustibles limitarà les reserves de petroli a 40 anys [Pla d'energia a Catalunya. ICAEN]. El residu de biomassa proposat al nostre projecte és una font d'energia renovable, per tant es contribueix a reduir la utilització dels combustibles fòssils.

Reduir l'efecte del canvi climàtic. Al reduir les emissions de certs gasos produïts per la combustió dels combustibles fòssils, disminueix l'efecte hivernacle i per tant es deixa d'afavorir l'efecte del canvi climàtic.

Reduir el volum de biomassa residual. La problemàtica actual que es genera a partir de l'elevada producció de residus, incita a buscar alternatives per al destí d'aquests productes i reaprofitar-los per tal d'obtenir un benefici energètic.

L'Ajuntament de Girona, afavorint aquest projecte, actua de forma proactiva, impulsant el desenvolupament i potenciant les energies renovables, concretament en una planta de cogeneració amb energia obtinguda a partir de biomassa de residus de fusta i poda, i també biomassa forestal.

Un altre aspecte que justifica aquest estudi és conèixer la viabilitat econòmica d'aquest tipus de generació, la producció combinada d'energia elèctrica i tèrmica, tenint en compte les possibles subvencions a les que es pot optar a l'apostar per les energies renovables. Aquest tipus de projectes que contribueixen a la innovació tecnològica, i les inversions que es produeixin per a millorar en aquest camp i en pro de la sostenibilitat, es veuen molt afavorides i facilitades per l'administració autonòmica, nacional i europea.

Cal tenir present que es tracta d'una inversió a llarg termini ja que el canvi del model energètic actual, a nivell mundial, és inevitable i sobretot molt necessari de cares a la qualitat del futur.

1.4 METODOLOGIA

L'estudi de viabilitat de l'aprofitament de biomassa residual amb implantació d'una planta de cogeneració a la zona de Domeny es basa en les dades reals cercades als diferents sectors d'aplicació.

La recerca prèvia de les dades necessàries per desenvolupar el projecte s'ha dut a terme a partir de tres línies diferents:

- **Biomassa:** Agència de Residus de Catalunya per obtenir la disponibilitat de biomassa residual de fusta i poda a l'àrea d'estudi. Prenent com a zona d'influència d'abastiment de biomassa la província del Gironès, sobretot de les comarques més properes (el Gironès, La Selva, Plà de l'Estany, La Garrotxa, Baix Empordà i Alt Empordà). I pel tractament de la biomassa s'ha treballat amb bibliografia i dades del "Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) ", Estratègia pel Desenvolupament de les Energies Renovables (EDER) i l'Observatori de la Biomassa creat pel Consorci Forestal de Catalunya.
- **Cogeneració:** Bibliografia publicada sobre la cogeneració amb biomassa de l'IDAE, dades facilitades per l'empresa Turboden, empresa que treballa el sector de la cogeneració amb biomassa, i per últim dades i informació facilitades per l'enginyeria de projectes ITISA,S.L., i SBI,S.L..
- **Localització planta:** Pla Parcial Urbanístic del sector del Pla de Baix de Domeny, per realitzar l'estudi sobre la zona d'implementació de la planta de cogeneració i estudiar les necessitats dels habitatges per dimensionar la planta.

La recerca de la informació, ha tingut lloc bibliogràficament i mitjançant consultes a experts que han facilitat dades i orientat alhora de resoldre diferents obstacles, especialment en els àmbits tècnic i econòmic.

2 ESTUDI URBANÍSTIC DEL PLA DE BAIX DE DOMENY

2.1 Situació del Pla de Baix de Domeny

L'estudi de viabilitat es duu a terme al sector del Pla de Baix de Domeny, zona situada a l'oest de la ciutat de Girona. Aquest sector es considera com la última actuació urbanística de grans dimensions (24Ha;1219 habitatges) que es realitza per l'Ajuntament de Girona. Aquesta àrea es troba condicionada per la preexistència de carrers als quals s'ha hagut d'adaptar la planificació.

El Pla Parcial de la zona urbanística, preveu que sigui una actuació sostenible que garanteixi la qualitat de vida dels futurs habitants de l'àrea per la seva qualitat ambiental, baix consum energètic i d'altres criteris ambientals, l'objectiu és aconseguir un bon exemple d'urbanisme sostenible a la ciutat de Girona.

Figura 1. Mapa de la situació del Pla de Baix de Domeny respecte l'àrea urbana de Girona [Font: PPU]

2.2 Distribució dels habitatges

Els habitatges estaran distribuïts segons les millors condicions que permet el territori.

Figura 2. Plànol de zonificació del Pla de Baix de Domeny [Font: PPU]

Considerant la densitat de 50 habitatges per hectàrea i una destinació del 40% de la superfície a ús privat, s'ha estimat la superfície mitjana d'un habitatge en 80m^2.

$$S_{habitatge} = \frac{Densitat\ habitatges}{Sol\ ús\ privat} = 80\frac{m^2}{habitatge}$$

Dades de Població	
Nombre màxim d'habitatges	1.219 hab
Habitants estimats	3.047 persones
Habitants per habitatge	2.5 persones
Densitat habitatges	50 habitages/Ha
Total sòl ús privat	**40%**

Taula 2. Dades de població [Font: PPU del Pla de Baix de Domeny]

2.3 Disseny dels edificis

En aquest sector, d'acord amb la planificació urbanística, s'han introduït uns criteris bioclimàtics que es tindran en compte en els projectes constructius en curs.

Criteris bioclimàtics:

a) Als edificis multi familiars tots els habitatges tindran accés a dues façanes oposades, per tal de fer possible la ventilació creuada.

b) Les cobertes seran preferentment planes; si han de ser inclinades, tindran el carener orientat en l'eix est-oest.

c) No es faran servir recobriments negres o foscos a les cobertes.

d) El disseny de la coberta preveurà obligatòriament un espai on els captadors solars tèrmics puguin ser integrats adequadament. En cas de coberta inclinada, el tram on s'integrin els captadors solars podrà tenir un pendent superior al màxim establert.

e) Es potenciaran les obertures transparents a la façana sud i es reduiran a la cara nord.

f) Les obertures transparents de la façana sud es protegiran de l'entrada de la insolació indesitjada de l'estiu per mitjà de voladissos o altres elements fixos adequadament calculats. També es podrà optar per proteccions mòbils exteriors. Aquestes darreres seran obligatòries a les obertures situades a l'est i oest.

g) L'aïllament tèrmic dels tancaments verticals es situarà amb preferència a la cara exterior dels murs de càrrega per tal d'eliminar els ponts tèrmics i potenciar la inèrcia tèrmica.

h) Els espais envidrats exempts, amb funció captadora solar (hivernacles adossats i galeries) no computaran com a superfície edificada si no superen el 15% de la planta edificada. En cap cas s'instal·larà calefacció en aquest espai.

i) Tots els habitatges dels edificis multi familiars tindran previst l'espai on estendre la roba en condicions adequades.

j) Els edificis disposaran, a la planta baixa, d'un espai específic on guardar amb seguretat les bicicletes.

k) Tots els elements de control d'aigua (aixetes, cisternes de WC, capçals de dutxa) seran de baix consum (amb airejadors i doble nivell de descàrrega).

l) Cada habitatge disposarà d'una vàlvula reductora de pressió a l'entrada de l'escomesa d'aigua.

m) Tots els edificis disposaran d'un volum d'acumulació d'aigua pluvial a les cobertes, equivalent com a mínim a 0,1 m^3/m^2 de projecció horitzontal de coberta. Aquest factor no s'aplicarà a les cobertes enjardinades. Totes les cobertes tindran canaleres i baixants d'aigua pluvial independents de qualsevol altra mena de desaigua.

n) La instal·lació d'aigua freda serà doble (aigua xarxa municipal + aigua pluvial). Aquesta darrera abastirà com a mínim cisternes de WC, punts d'aigua de neteja i punts d'aigua de reg. Es recomana també posar una presa d'aquesta aigua al lloc previst per la rentadora.

o) Als emplaçaments previstos per a la rentadora i el rentavaixelles es deixarà una presa d'aigua calenta per fer possible la instal·lació d'electrodomèstics biotèrmics.

2.4 Proposta de distribució urbanística energèticament eficient

La proposta de distribució dels edificis és un esborrany inicial, tenint en compte els condicionants energètics i ambientals definits al Pla Parcial Urbanístic del sector del Pla Baix de Domeny, respectant els paràmetres urbanístics bàsics i modificant l'estructura d'alineació quan ha calgut per adaptar la distribució per a l'òptim energètic sense canviar el traçat viari.

Paràmetres que s'hi han aplicat:

- Alineació longitudinal dels blocs d'edificis en l'eix est-oest per tal que les seves façanes principals s'orientin cap al sud i nord.
- Fondària aproximada del bloc de 15 m.
- Fondària d'aparcaments soterrats de 15 m.
- Entrada als aparcaments soterrats des dels vials de l'eix nord-sud.
- Habitatges passants, formats senzills i dúplexs.
- Distribuïdor de replà (escales i ascensor) per a quatre habitatges.
- Cobertes planes amb integració de captadors solars tèrmics, i espai per a plaques fotovoltàiques i per estendre la roba a l'aire lliure i a cobert (sota les plaques).
- Façana sud amb finestrals importants i proteccions solars fixes horitzontals.
- La façana sud tindrà balcons dissenyats de forma que a l'hivern poguessin quedar tancats amb vidrieres mòbils i la resta de l'any fossin oberts. No computarien com a superfície habitada.
- Façana nord amb finestres petites de ventilació.
- La façana nord tindrà els distribuïdors d'escala i ascensor per a cada quatre habitatges. Aquests distribuïdors seran a l'aire lliure.
- Les portes principals tindran cancell o rebedor tancat.
- Els blocs de la banda nord de l'illa tindran majors alçades, planta baixa més tres plantes, que la resta situats a la banda sud.
- La distància entre blocs serà la suficient com per no crear ombres sobre la façana de l'edifici situat immediatament a nord al migdia solar de desembre.
- L'absència d'alineament de façana a la cara est i oest de l'illa es pot corregir construint un alineament de planta baixa, en el qual hi haurà activitat comercial i serveis dels edificis (recinte de contenidors, espai per a bicicletes, passos de vianants, locals socials, etc.)

2.4.1 Justificació de l'orientació dels edificis

A la zona del Pla de Baix de Domeny l'orientació energèticament òptima és la que permet que una de les façanes principals s'encari al Sud, però les propostes desenvolupades

orienten la majoria dels edificis amb façanes principals est-oest seguint les recomanacions del Pla Parcial.

La proposta de l'orientació ha intentat sintetitzar ambdós interessos, millorar la qualitat de vida dels espais edificats i oferir alineacions de façanes que conformin carrers.

Aquesta proposta de planificació dels edificis amb façanes principals a l'est i oest, té repercussions en termes energètics i de qualitat de vida:

- Els habitatges són més freds a l'hivern i més calorosos a l'estiu
- Cal gastar més energia per mantenir temperatures de confort.
- Cal instal·lar aparells d'aire condicionat, en especial als habitatges encarats a l'oest
- El control solar a les façanes est i oest, només es pot fer amb elements de protecció verticals, que eviten també el pas de la llum natural, tenen un efecte estètic sobre la façana considerable i obliguen a la manipulació diària
- L'aportació solar a l'hivern és insignificant i exagerada a l'estiu

Tots aquests efectes s'eviten amb una façana orientada al sud.

A més, es donen repercussions a nivell d'aprofitament de la coberta per integrar elements de captació solar ja que per una mateixa superfície de captació s'ocupa molta més superfície en un edifici orientat longitudinalment en l'eix nord-sud que en est-oest, en el primer cas cal fer més rengles curts amb separacions considerables entre ells per evitar ombres.

La justificació energètica de l'orientació longitudinal est-oest, es veu clarament en aquests gràfics:

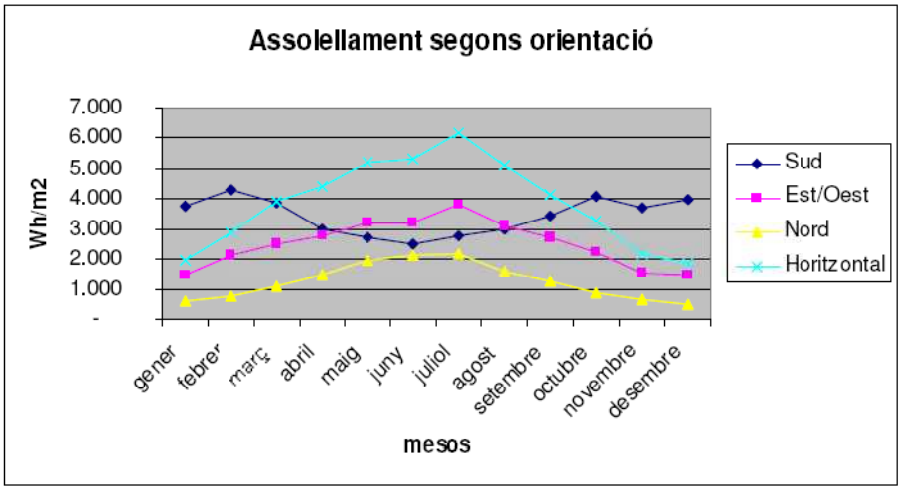


Figura 3. Assolellament segons orientació [Font: PPU]

- Les façanes est i oest tenen el màxim assolellament a l'estiu i poca a l'hivern
- La façana nord té gairebé tanta insolació a l'estiu com la cara sud
- La superfície horitzontal (cobertes) tenen tanta radiació a l'estiu que cal protegir-les

- Les proteccions a la cara sud poden ser fixes i horitzontals (no priven les vistes ni treuen llum natural). Les proteccions a la cara est, oest i nord han de ser verticals, mòbils i manuals ja que treuen vistes i redueixen la llum natural.

2.5 Consum de calefacció dels habitatges i ACS

Per conèixer les necessitats energètiques dels habitatges de la zona d'estudi s'han calculat el consum de calefacció i aigua calenta sanitària.

Per mantenir un recinte a una temperatura determinada, només cal aportar un flux de calor equivalent a les pèrdues del propi recinte. Tan sols en el període inicial, convé utilitzar una potència superior a la de manteniment per aconseguir amb certa rapidesa la temperatura de confort. La pèrdua de calor que caldrà compensar és una suma de factors entre els quals podem destacar:

- Transmissió de calor a través de l'estructura del recinte, que depèn de:
    - Els materials i aïllaments utilitzats en la construcció
    - L'orientació de l'edifici
- La diferència tèrmica entre l'interior i l'exterior del recinte
- Pèrdues de calor sensible segons el volum d'aire renovat (portes,finestres,etc)
- Fonts de calor dins del recinte com poden ser màquines, persones i il·luminació

Per realitzar els càlculs necessaris per la determinació d'una instal·lació de calefacció, cal tenir informació de cadascun dels punts anteriors. Però aquest estudi de viabilitat pretén dimensionar de forma general un conjunt de vivendes suposant certes hipòtesis.

Aquestes hipòtesis són:

- Les vivendes tindran orientacions diferents que en terme mig es compensaran.
- El habitatges tindran parets contigües així que una mateixa vivenda no estarà exposada als quatres vents.
- Es tindrà en comte la diferència tèrmica entre l'interior i l'exterior del recinte. Com a temperatures exteriors s'utilitzaran els promitjos obtinguts de les dades meteorològiques, i a l'interior es suposarà una temperatura de confort de 22,5ºC.
- Les vivendes estaran construïdes amb aïllaments adequats que evitin excessives pèrdues de calor sensible.
- Independentment de possibles fonts de calor dins del recinte, es suposarà un flux de calor de 80W/m^2 per mantenir la temperatura interior.

S'ha considerat la vivenda tipus de la nova urbanització amb una superfície mitja de 80m^2, i comptabilitzant els possibles locals comercials en els baixos dels edificis o altres recintes en què la superfície a climatitzar sigui major s'obté una superfície mitja final de 90m^2.

Amb aquestes hipòtesis aplicades sobre una vivenda tipus, la potència màxima per cada vivenda serà de 7,2kW/habitatge. Amb aquesta dada de partida s'han calculat els factors de càrrega de cada mes d'acord amb les temperatures mitjanes mensuals i una temperatura de confort de 22,5ºC.

A part dels consums de calefacció per vivenda, el sistema centralitzat també ha de preveure la distribució d'aigua calenta (ACS) i les pèrdues de distribució del propi sistema. L'ACS es consumeix en punts com la dutxa, el bany, el lavabo i la cuina. El seu consum dependrà del nombre de persones que viuran o que utilitzaran el sistema. S'ha comptabilitzat un nombre de 2,5 persones per habitatge en mitjana. Aquest consum també dependrà de l'època de l'any. La calefacció es farà mitjançant un circuit en base a aigua calenta a 80ºC i un cabal de circulació de 200m^3/h.

Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
ACS(kWht)	380	376	360	256	230	138	136	62	130	220	328	358
Calef(kWht)	2850	2517	1311	556	316	0	0	0	0	385	1419	2982
Glob(kWht)	3230	2893	1671	812	546	138	126	62	130	605	1747	3340

Taula 3. Necessitats dels habitatges . [Font: ICAEN]

Cal considerar que un sistema centralitzat haurà d'internalitzar les pèrdues degudes al sistema de distribució que són degudes al bombeig d'aigua calenta des de la central de cogeneració fins a les estacions intermèdies de bombeig cap cadascun dels ramals de les vivendes. S'ha considerat un factor de pèrdues proporcional al 20% de l'energia vehiculada, val a dir, que aquest factor varia en funció de la distància i el tipus de canonades.

Amb aquests factors la necessitat total útil de calefacció dels habitatges és de 12.336kWht, i d'ACS de 2.964kWht. Per tant, un habitatge consumirà al llarg de l'any 15.299kWh tèrmics totals. El dimensionament de la central de cogeneració ha d'incloure les pèrdues considerades del sistema de distribució, així que el consum anual arribarà fins 19.124kWht. Considerant que el pla parcial preveu la construcció de 1.219 habitatges això implica un consum total de 23.312.098kWh tèrmics anuals.

Referent a la potència màxima demandada seria de 8.777kW tèrmics considerant un factor de simultaneïtat del 100%. Però els coeficients de simultaneïtat no arriben mai a aquest valor i la potència mitja es trobarà entre un valor mig anual de 3.448kWt i una mitjana de màxims equivalents a 6.840kWt.

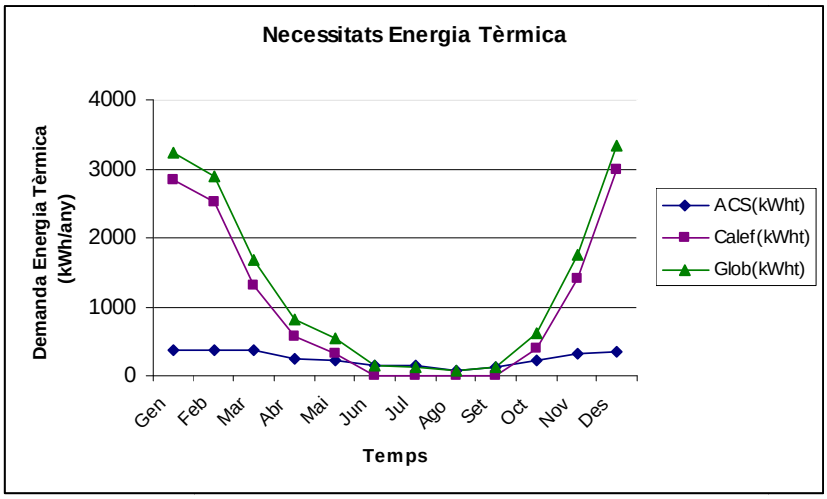


Figura 4. Consums tèrmics dels habitatges [Font: ICAEN]

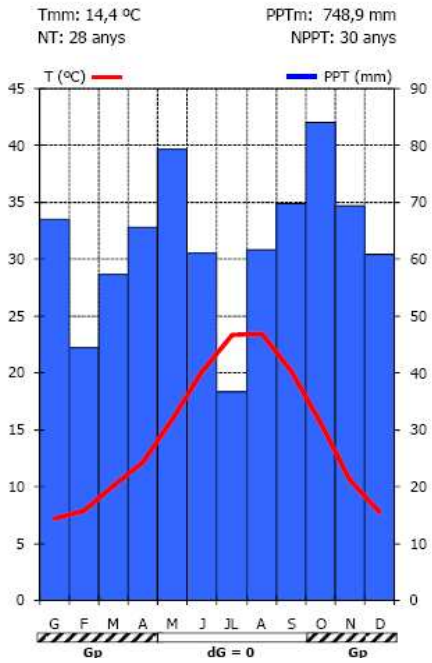
2.6 Climatologia de l'àrea d'estudi

La comarca del Gironès es caracteritza pel seu clima *Mediterrani Prelitoral Nord*, a excepció de la part més oriental i l'extrem meridional, on es pot qualificar de *Litoral.*

La precipitació mitjana anual augmenta en sentit SE-NW, els valors registrats són des de 650mm, fins a precipitacions considerades abundants, de l'ordre de 1000 mm a l'extrem nord occidental. La màxima precipitació es dóna a la tardor i a la primavera, i el mes de juliol és l'únic considerat àrid.

Termomètricament els hiverns són moderats i els estius calorosos, essent l'amplitud tèrmica entre baixa i mitjana. El període lliure de glaçades va de maig a setembre.

Diagrama Climàtic: EM Girona. Bell-lloc (comarca el Gironès)



Txx: (07/07/1982)	42.0ºC
Txxm:	26.8ºC
Txm C:	30.6ºC(juliol)
Txm:	21.1ºC
AT:	16.2ºC
Tnm:	7.8ºC
Tnm	0.8ºC
Tnnm	2.4ºC
Tnn (07/03/1971)	-9.5ºC

Figura 5. Diagrama climàtic de Girona [Font: Atles Climàtic de Catalunya]

	G	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	ANY
Tmm	7,2	7,9	10,1	12,2	15,9	20,1	23,3	23,4	20,2	15,6	10,5	7,8	14,4
Txx	22,0	23,5	28,5	29,0	32,0	38,0	42,0	39,5	37,0	33,5	30,0	24,0	42,0
dia	30/01/74	14/02/90	21/03/90	05/04/99	diversos	16/06/81	07/07/82	15/08/87	25/09/83	01/10/85	09/11/85	08/12/19	07/07/82
Txxm	19,2	20,5	23,5	24,9	28,2	32,7	35,6	35,4	32,1	27,4	22,5	19,4	26,8
Txm	13,5	14,3	16,8	18,8	22,4	26,7	30,6	30,4	26,9	21,9	16,6	14,0	21,1
Tnm	0,8	1,5	3,3	5,5	9,5	13,5	16,1	16,5	13,4	9,3	4,3	1,6	7,8
Tnnm	-4,3	-3,5	-2,3	-0,3	3,6	8,5	11,9	11,5	7,5	2,6	-2,1	-3,8	2,4
Tnn	-7,5	-8,0	-9,5	-5,0	1,0	5,0	8,0	8,0	3,0	-2,0	-8,0	-7,0	-9,5
dia	08/01/87	11/02/86	07/03/71	10/04/73	12/05/85	07/06/84	11/07/80	07/08/85	24/09/73	31/10/87	30/11/78	diversos	07/03/71
PPTm	67,0	44,3	57,3	65,7	79,3	60,9	36,7	61,6	69,7	84,0	69,5	60,9	748,9
PPTx24h	174,0	165,0	65,0	92,0	136,0	72,0	90,0	109,9	96,5	111,0	115,0	92,2	174,0
dia	06/01/77	16/02/82	01/03/93	14/04/76	17/05/77	04/06/97	24/07/81	30/08/75	12/09/88	03/10/87	16/11/89	23/12/73	06/01/77
dPPT	6,3	5,8	7,2	9,0	9,8	7,7	4,3	7,6	7,6	8,3	7,0	5,9	85,0
dG	15,6	11,1	6,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	6,2	14,0	56,7

Taula 4. Dades meteorològiques de Girona [Font: Atles climàtic de Catalunya]

Temperatures mínimes mitjanes

Gener	8-9	Abril	13-12	Juliol	23-24	Octubre	15-16
Febrer	8-9	Maig	16-17	Agost	23-24	Novembre	9-10
Març	10-11	Juny	20-21	Setembre	20-21	Desembre	7-8

3 BIOMASSA ENERGÈTICA

Segons *la Directiva 2009/28/CE del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'abril de 2009, relativa al foment de l'ús d'energia procedent de fonts renovables*, es defineix la biomassa com la fracció biodegradable dels productes, materials de rebuig i residus d'origen biològic procedents d'activitats agràries -incloses les substàncies d'origen vegetal i d'origen animal-, de la silvicultura i de les indústries connexes -incloses la pesca i l'aqüicultura-, així com la fracció biodegradable dels residus industrials i municipals.

La biomassa és una font d'energia renovable de gran importància. Les possibilitats d'aprofitar-la com a energia són molt diverses, amb el gran avantatge, entre d'altres, que el seu ús no contribueix a l'increment de l'efecte hivernacle pel fet que el balanç d'emissions de CO_2 és pràcticament neutre.

Figura 6. Cicle del CO_2 [Font Natural 21]

En aquest projecte un dels objectius és estudiar l'estella de residus de fusta i poda com a combustible. Es vol tenir un rendiment dels productes que actualment tenen menys sortida al mercat català.

La gran quantitat de residus que actualment genera la societat i l'elevat consum energètic, és un problema que cada cop més centra l'atenció de la major part dels tècnics i planificadors del medi ambient i de sostenibilitat territorial. Fet que incita a buscar alternatives per al destí d'aquests productes per tal que el seu final no sigui en un dipòsit de residus no especial, o cremats sense l'aportació de cap benefici.

3.1 Font de la biomassa

Per situar la biomassa de fusta i poda, es classifica la biomassa susceptible de ser emprada energèticament segons el seu origen.

Biomassa natural, aquesta es produeix de forma espontània a la natura sense cap tipus d'intervenció humana. Per exemple, les branques caigudes als boscos per causes naturals.

Cultius energètics, produïda en cultius exclusius per obtenir materials destinats al seu aprofitament energètic. Tenen una alta producció per unitat de superfície i any.

Biomassa residual es genera degut a qualsevol activitat humana, en activitats agrícoles, ramaderes i forestals, així com processos agroalimentaris i de transformació de fusta. Dins aquesta també s'inclouen els residus biodegradables com efluents ramaders, efluents

d'aigües residuals, llots depuradora, i una part de residus sòlids urbans com paper, restes d'aliments, i fusta.

Aquesta biomassa la podem classificar en biomassa residual seca (sòlids) i biomassa residual humida (amb gran contingut d'humitat).

Diagrama explicatiu de l'origen dels tipus de biomassa on es ressalta en verd la línia de treball.

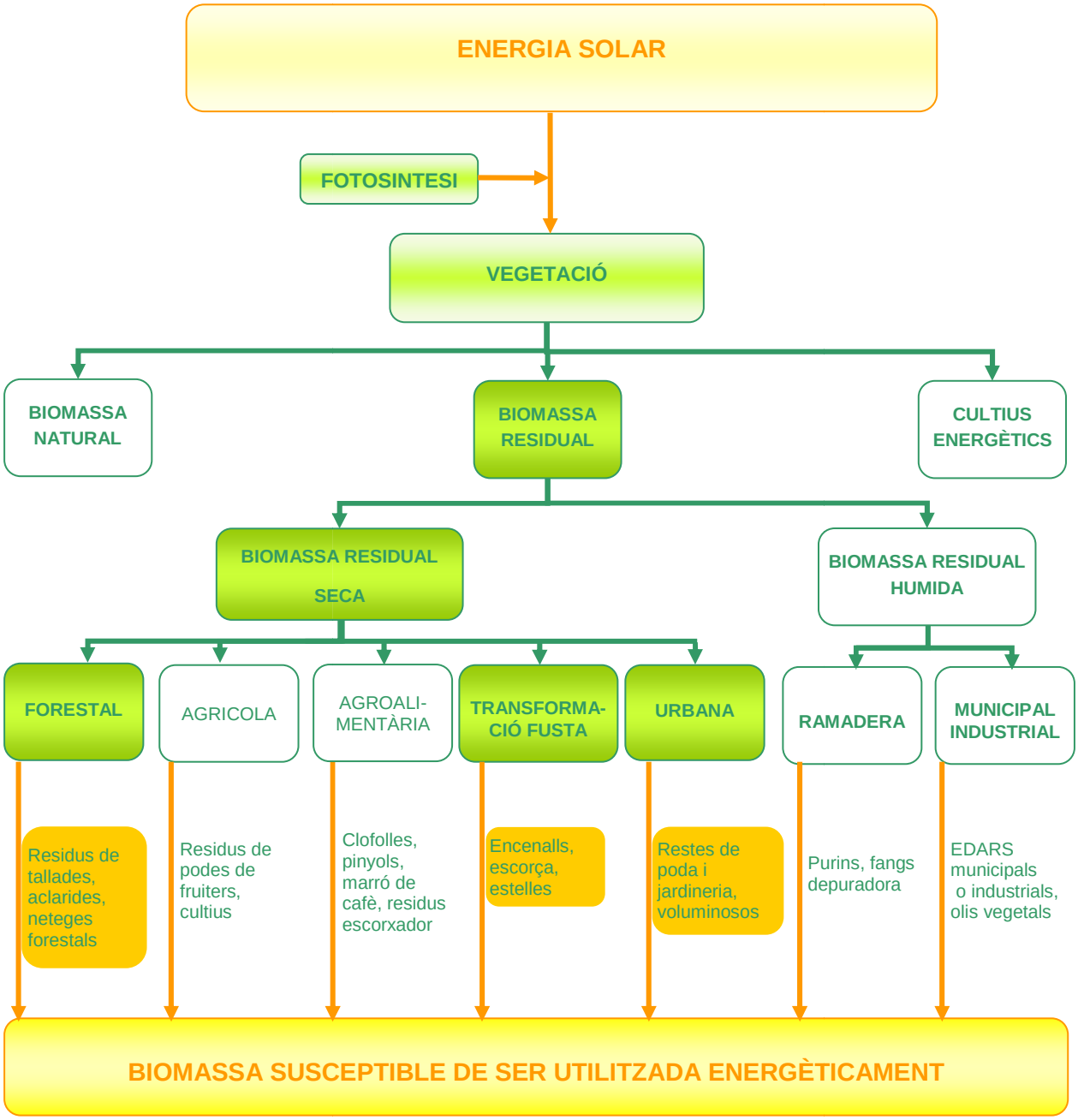


Figura 7. Biomassa susceptible de ser utilitzada energèticament [Font: Elaboració pròpia]

La biomassa residual seca comprèn:

- *Biomassa d'origen forestal*. Residus que provenen dels treballs de manteniment de les zones forestals com tallades i aclarides.
- *Biomassa d'origen agrícola*. Residus que provenen de cultius llenyosos i herbacis com per exemple podes d'arbres fruiters, de la vinya, oliveres, palla de cereals o de la canyota de blat de moro.
- *Biomassa residual de la indústria de la fusta*. Residus o subproductes generats per les indústries de primera transformació de la fusta. Són els residus que s'obtenen de les industries que processen directament el tronc que els arriba, és a dir serradores, indústria de conglomerat, indústria de pasta de paper i industria surera.
- Residus d'indústries de segona transformació, són els generats per les indústries que utilitzen com a matèria primera la fusta ja elaborada, com per exemple la indústria del moble. Els residus o subproductes generats són serradures, escorces, estelles, i encenalls.
- *Biomassa residual d'indústries agrícoles i agroalimentàries*. Residus o subproductes com les closques de fruits secs, marró de cafè i residus de carn.
- *Biomassa municipal.* Restes de poda i jardineria com troncs, branques, gespa, fulles, una part de residus voluminosos (mobles, portes, etc.) La fracció del paper dels CDR i una part de la fracció orgànica dels RSU.

La biomassa residual humida comprèn:

- *Biomassa urbana o industrial*. Aigües residuals i llots de depuradores urbanes o industrials.
- *Biomassa ramadera*. Prové de residus ramaders com els purins.

Una altra classificació dels residus de fusta i poda, és en funció de la codificació dels residus que utilitza l'Agència Catalana de Residus segons el Catàleg Europeu de Residus (CER). Veure codificació més desenvolupada i vies de gestió a l'annex 1.

Codi CER dels residus de fusta i poda estudiats		
030101 Escorça i suro	150103 Envàs de fusta	200138 Fusta
030105 Retalls fusta, fulloles	170201 Fusta	200307 Voluminosos
030301 Escorça i suro	191207 Fusta	200201 Poda

Taula 5. Codificació CER [Font: Arc-cat]

3.2 Situació energètica de la biomassa

Les dades del consum de biomassa d'origen forestal, agrícola i ramader a Catalunya indiquen que el consum energètic d'aquest tipus de biomassa no ha variat significativament respecte el nivell de consum de l'any 2003, existint una situació d'endarreriment en quant a l'assoliment dels objectius fixats al *Pla de l'Energia de Catalunya 2006 – 2015*, tal com s'observa a les següents taules:

Potència elèctrica instal·lada

Tipus d'indicador: actualització mensual
Àmbit: energies renovables / estalvi i eficiència energètica / infraestructures

Unitat: MW	Dades reals			Revisió Pla de l'Energia
	2003	**Març 2010**	**Obj. 2009**	**2015**
Energies no renovables	7402,5	8215,4	8287,8	9656,4
Centrals de carbó	160,0	160,0	160,0	0,0
Centrals de fuel-gas i gasoil	1235,9	1232,7	1235,9	0,0
Cicles combinats	1579,3	2487,2	2487,2	4932,0
Cogeneració (no renovable)	1156,3	1018,1	1044,2	1405,8
Altres no renovables	124,2	170,5	213,6	171,7
Nuclear	3146,9	3146,9	3146,9	3146,9
Energies renovables	2477,2	3346,1	3745,2	6902,9
Hidràulica	2319,1	2360,2	2374,7	2473,5
en règim ordinari	2088,5	2088,6	2088,3	2088,4
en règim especial, aïllades i amb contracte privat	230,6	271,6	286,4	385,1
RSU	45,2	44,3	44,4	44,4
Biogas	23,5	47,3	73,5	131,8
Biomassa forestal i agrícola	0,5	0,5	10,5	50,3
Eòlica	86,7	725,4	1011,0	3500,4
Fotovoltàica	2,2	168,5	231,1	500,0
Solar termoelèctrica	0,0	0,0	0,0	202,5
TOTAL	*9879,8*	*11561,5*	*12033*	*16559,0*

Taula 6. Dades de seguiment del Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015. [Font: ICAEN (28/04/2010)]

Consum d'energia primària (ktep)

Tipus d'indicador: actualització anual
Àmbit: energies renovables

Font d'energia primària	Consum d'energia primària (ktep)				Percentatge sobre el total (%)			
	Dades reals			Revisió Pla de l'Energia	Dades reals			Revisió Pla de l'Energia
	2003	**2006**	**2007**	**2015**	**2003**	**2006**	**2007**	**2015**
Carbó	178,6	298,5	303,9	130,5	0,7	1,1	1,1	0,5
Petroli	12.578,4	12.643,5	12.933,8	11.702,9	48,7	48,0	48,2	43,4
Gas natural	5.435,4	6.085,6	6.682,6	6.203,5	21,1	23,1	24,9	23,0
Nuclear	6.419,8	5.927,0	5.280,3	6.369,2	24,9	22,5	19,7	23,6
Saldo intercanvis elèctrics	330,4	692,5	825,7	-180,6	1,3	2,6	3,1	-0,7
Residus no renovables	61,2	59,2	71,4	64,3	0,2	0,2	0,3	0,2
Renovables	815,4	626,1	742,5	2.703,1	3,2	2,4	2,8	10,0
Solar	2,9	12,0	21,9	358,8	0,4	1,9	2,9	13,3
Eòlica	14,0	27,3	42,8	698,4	1,7	4,4	5,8	25,8
Hidràulica	519,5	301,5	307,6	504,3	63,7	48,2	41,4	18,7
Biomassa forestal i agrària	85,6	87,3	93,7	306,6	10,5	13,9	12,6	11,3
Residus renovables	147,7	121,7	134,3	187,7	18,1	19,4	18,1	6,9
Biogas	20,4	38,7	40,8	205,6	2,5	6,2	5,5	7,6
Biocarburants	25,3	37,6	101,5	441,8	3,1	6,0	13,7	16,3
TOTAL	*25.819,1*	*26.332,3*	*26.840,3*	*26.993,9*	*100,0*	*100,0*	*100,0*	*100,0*

Taula 7. Dades de seguiment del Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015. [Font: ICAEN]

La major part del consum de biomassa forestal, agrícola i ramadera correspon a consums directes per a la producció de calor. Aquests, es concentren principalment al sector domèstic (llenyes per a calefacció) i industrial.

Els sectors primari (agrícola i ramader) i terciari (serveis), també són consumidors de biomassa llenyosa, però en quantitats molt més reduïdes.

En quant als usos tèrmics d'aquests tipus de biomassa, els darrers anys s'ha detectat un creixement al mercat de calderes de biomassa petites i mitjanes (funcionant amb pèl·let o estella) que pràcticament era inexistent l'any 2005.

Tot i aquest creixement, la quantitat d'instal·lacions de calderes de biomassa existents és encara molt petita ja que es tracta d'un mercat molt incipient.

El consum de biomassa per a generar energia elèctrica a Catalunya l'any 2008 es centrava exclusivament en una instal·lació de gasificació i de generació d'electricitat amb motors alternatius ubicada a Mora d'Ebre.

La baixa retribució que hi havia per a les instal·lacions de biomassa a l'antic *RD 436/2004,* era un fort limitant per al desenvolupament de plantes de biomassa per a producció elèctrica. La publicació del *RD 661/2007* amb una important millora en la retribució d'aquestes instal·lacions (especialment en el camp dels cultius energètics), està suposant un impuls als projectes de producció elèctrica amb biomassa. La recent publicació fa que encara no s'hagin materialitzat els resultats, donat que els projectes necessiten d'un llarg període de maduració i sovint topen amb un seguit de barreres tècniques, econòmiques i administratives.

L'anàlisi de la situació energètica actual a Catalunya i de les previsions sobre la potència elèctrica instal·lada i consum de biomassa en el *Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015*, permet detectar la necessitat de fer noves plantes de producció d'energia amb biomassa, per tal d'assolir els objectius energètics a curt i mig termini, que són disminuir la dependència energètica dels recursos no renovables i reduir les emissions de GEH.

3.2.1 Disponibilitat a les comarques gironines

Resulta difícil comptabilitzar la quantitat real de biomassa que es pot generar degut a la manca d'informació sobre els moviments dels residus, per part de les indústries i el sistema de recollida de dades dels residus municipals de l'Agència de Residus de Catalunya, ja que certs residus municipals no es donen directament per codi CER[3], i alguns ens locals no faciliten les dades (com és el cas de la Garrotxa).

També s'ha de tenir en compte que no tota la quantitat de biomassa residual és de fàcil recuperació per transformar-se en energia; dins els voluminosos hi ha fustes però també electrodomèstics i matalassos, la poda està formada per troncs però hi ha una part de fulles no aprofitables. A l'apartat següent s'indiquen els percentatges orientatius de la quantitat de biomassa aprofitable.

[3] A partir del 2011 les dades es donaran directament per codi CER

No s'ha comptabilitzat la fusta especial, degut a ser fusta que per ser utilitzada com a combustible hauria de tenir un tractament més costós econòmicament. Així només s'han extret les dades de fusta no especial.

Per a l'estudi, s'han escollit les comarques gironines més properes a la zona de Domeny, per tal que el seu transport i adquisició siguin més senzills.

Totes les dades corresponen a l'exercici de declaració de residus de l'any 2008.

Quantificació dels residus de fusta

La biomassa que s'estudia utilitzar a la planta de cogeneració prové de residus de fusta industrial, de deixalleries i dels residus voluminosos.

Els residus de fusta a les deixalleries a les comarques gironines s'ha demanat directament a l'Agència Catalana de Residus.

En canvi, pels residus voluminosos, s'han utilitzat les estadístiques de generació de residus municipals extretes de la plana web de l'Agència de Residus de Catalunya de la següent manera:

- Per producció de residus municipals
- Per comarques, seleccionant les comarques gironines.

Pels residus de fusta industrial, s'han utilitzat les estadístiques de generació de residus industrials extretes de la plana web de l'Agència de Residus de Catalunya.

Aquestes estadístiques s'han analitzat segons:

- Categoria europea de generació segons agrupacions definides a l'annex I de la secció 2 del *Reglament CE 2150/2002*, relatiu a estadístiques sobre residus, modificat pel *Reglament CE 574/2004*.
- Comarques**,** seleccionant les comarques gironines.

Els residus industrials inclosos en el grup de fustes, en l'estadística de residus industrials per categoria europea de generació, inclou els residus de la següent llista:

07.5 Residus de fusta
- 07.51 Embalatges de fusta
  - 0 No perillosos
    - 15 01 03 Envasos de fusta
- 07.52 Serradures i virostes
  - 0 No perillosos
    - 03 01 05 Serradures, virostes, retalls, fusta, taulers de partícules i xapats
  - 1 Perillosos
    - 03 01 04 serradures, virostes, retalls, fusta, taulells de partícules i xapats que contenen substàncies perilloses
- 07.53 Altres residus de fusta
  - 0 No perillosos
    - 03 01 01 Residus d'escorça i suro
    - 03 03 01 Residus d'escorça i fusta
    - 17 02 01 Fusta
    - 19 12 07 Fusta diferents de l'especificada al codi 19 12 06
    - 10 01 38 Fusta diferents de l'especificada al codi 20 01 37
  - 1 Perillosos
    - 19 12 06 Fusta que conté substàncies perilloses
    - 20 01 37 Fusta que conté substàncies perilloses

Taula 8. Reglament 574/5004/CE de 23 de febrer, referent a residus

Generació de residus de fusta a les comarques gironines al 2008, en tones.

	Fusta			
	Deixalleries	Residus Voluminosos	Fusta Industrial no perillosa	Total
Alt Empordà	608,11	5.429,07	2.678,00	8.715,18
Baix Empordà	2.098,51	1.902,17	4.408,00	8.408,68
Garrotxa	38,48	547,79	2.168,00	2.754,27
Gironès	388,78	2.780,30	11.427,00	14.596,08
Pla de l'Estany	503,64	182,19	1.574,00	2.259,83
Selva	1.475,97	1.351,94	13.251,00	16.078,91
Total província de Girona	**5.113,49**	**12.193,46**	**35.506,00**	**52.812,95**

Taula 9. Dades extretes de l'ARCAT. [Font: Elaboració pròpia]

Quantificació dels residus de poda

Per quantificar els residus de poda, s'han obtingut les dades directament de l'Agència Catalana de Residus. Aquestes dades han estat desglossades per recollida selectiva en àrea d'aportació/porta a porta (AA/PaP) i per deixalleria de les comarques gironines.

Generació de residus de poda i jardineria a les comarques gironines al 2008, en tones.

	Poda i jardineria		
	Deixalleries	AA + PaP*	Total
Alt Empordà	602,22	6.035,37	6.637,59
Baix Empordà	2.061,17	1.008,19	3.069,36

Garrotxa	0,00	0,00	0,00
Gironès	245,57	1.847,58	2.093,15
Pla de l'Estany	122,73	950,89	1.073,62
Selva	1.104,71	4.164,48	5.269,19
Total província Girona	**4.136,40**	**14.006,51**	**18.142,91**

Taula 10. Dades extretes de l'Arc-cat. Recollida selectiva en àrees d'aportació i porta a porta. [Font: Elaboració pròpia]

3.2.2 Quantificació dels residus aprofitables

S'ha de tenir en compte que no tota la quantitat de biomassa obtinguda és apta per ser transformada en energia, i resulta difícil comptabilitzar la quantitat real aprofitable.

L'Agència de Residus de Catalunya no disposa d'aquest percentatge, així que s'ha estimat a través de la informació cedida pel transportista i gestor de residus *Recuperacions Marcel Navarro i Fills, S.L.*

Percentatge de biomassa aprofitable per l'elaboració d'estella com a combustible:

	Fusta			**Poda i jardineria**	
	Deixalleries	Residus Voluminosos	Fusta Industrial no perillosa	Deixalleries	AA + PaP*
% Aprofitable de fusta i poda	94%	50%	94%	20%	20%

Taula 11. Biomassa aprofitable per l'elaboració d'estella com a combustible [Font: Transportista i Gestor de residus Recuperacions Marcel Navarro i Fills, S.L]

Els voluminosos solen estar formats per un 50% de fusta i l'altra part correspon a electrodomèstics, matalassos i altres objectes.

Els residus de fusta industrial i de deixalleria estan formats per un 94% de fusta i l'altra part són impropis.

Per últim, la poda està formada per troncs, branques en un 20% i l'altra part són fulles, terra i aigua.

Aproximació dels residus de fusta utilitzables com a font d'energia a les comarques gironines al 2008, en tones.

	Fusta			
	Deixalleries	Residus Voluminosos	Fusta Industrial no perillosa	Total
Alt Empordà	571,62	2.714,54	2.517,32	5.803,48
Baix Empordà	1.972,60	951,09	4.143,52	7.067,20
Garrotxa	36,17	273,90	2.037,92	2.347,99
Gironès	365,45	1.390,15	10.741,38	12.496,98
Pla de l'Estany	473,42	91,10	1.479,56	2.044,08

Selva	1.387,41	675,97	12.455,94	14.519,32
Total província de Girona	**4.806,68**	**6.096,73**	**33.375,64**	**44.279,05**

Taula 12. Residus de fusta utilitzables com a font d'energia [Font: Elaboració pròpia]

Aproximació dels residus de poda utilitzables com a font d'energia a les comarques gironines al 2008, en tones.

Poda i jardineria			
	Deixalleries	AA + PaP*	Total
Alt Empordà	120,44	1.207,07	1.327,52
Baix Empordà	412,23	201,64	613,87
Garrotxa	0,00	0,00	0,00
Gironès	49,11	369,52	418,63
Pla de l'Estany	24,55	190,18	214,72
Selva	220,94	832,90	1.053,84
Total província Girona	**827,28**	**2.801,30**	**3.628,58**

Taula 13. Residus de poda utilitzables com a font d'energia [Font: Elaboració pròpia]

Aproximació de la quantitat total de residus de fusta i poda utilitzables com a font d'energia al 2008, en tones.

	Fusta	Poda	Total
Alt Empordà	5.803,48	1.327,52	**7.131,00**
Baix Empordà	7.067,20	613,87	**7.681,07**
Garrotxa	2.347,99	0,00	**2.347,99**
Gironès	12.496,98	418,63	**12.915,61**
Pla de l'Estany	2.044,08	214,72	**2.258,80**
Selva	14.519,32	1.053,84	**15.573,16**
Total província Girona	**44.279,05**	**3.628,58**	**47.907,63**

Taula 14. Residus de fusta i poda utilitzables com a font d'energia [Font: Elaboració pròpia]

La quantitat total aproximada de residus de fusta i poda que poden ser utilitzats com a font d'energia va ser de 47.907 tones l'any 2008, on el 92,43 % representa els residus de fusta i un 7,57% residus de poda. Però recordem que l'Agència de Residus de Catalunya, no té constància de tots els residus de biomassa, ja que passen d'una empresa a una altra o bé són cremats sense obtenir energia, o els ens locals no faciliten les dades. És molt probable que si es tinguessin totes les dades, s'obtindria una quantitat de residus de fusta i poda més elevada.

3.3 Morfologia de la biomassa com a combustible

Els sistemes d'aprofitament energètic de la biomassa necessiten alimentar-se amb elements de determinades morfologies.

3.3.1 Pèl·let

Es tracta de petits cilindres que s'obtenen a partir de triturar i assecar la fusta o altres elements vegetals tot premsant-los i comprimint-los.

El pèl·let, com també és el cas de la briqueta, està pensat per a ús domèstic a xemeneies o calderes individuals, per a calderes d'una comunitat de veïns o per a calderes de petites i grans indústries.

Propietats pèl·let

- Forma cilíndrica i homogènia.
- Dimensions: longitud entre 1 i 6cm i diàmetre entre 0,6 i 2cm.
- Poder calorífic oscil·la entre 4.000 i 4.500kcal/kg.
- Densitat elevada.
- Humitat entre el 8 i el 10% en base humida.
- És fàcilment manipulable per la seva petita mida i es pot trobar al mercat en sacs i a granel. Requereix poc espai de magatzem. Resulten més car que l'estella, ja que s'ha de triturar, assecar, premsar i comprimir.

Normativa de classificació

A la majoria de països europeus no hi ha normes específiques per al pèl·let, i es troba sotmès a les normes de biomassa en general. Només Àustria, Suècia i Alemanya disposen de normes oficials específiques per al pèl·let. Aquestes normes són:

- Àustria: ÖNORM M7135
- Suècia: SS 187120
- Alemanya: DIN 51 731

Actualment, en redacció una directiva reguladora a nivell europeu.

Classificació del pèl·let segons la norma ÖNORM 7135, la SS 187120 i la DIN 51 731:

Paràmetre	ÖNORM M7135	SS 187120			DIN 51 731		
		Grup 1	Grup 2	Grup 3	5 classes (mm)		
						Long.:	**Ø:**
Mida	Longitud: màx. 100mm Ø: 4-20mm	Ø màx.: 4	Ø màx.: 5	Ø màx.: 6	HP1	>30	>10
					HP2	15-30	6-10
					HP3	10-15	3-7
					HP4	<10	1-4
					HP5	<5	0,4-1

Densitat		≥600kg/m^3	≥500kg/m^3	≥500kg/m^3	
% elements fins <300		≤0,8	≤1,5	≤1,5	
Humitat	≤12% b.h	≤10% b.h	≤10% b.h	≤12% b.h	≤12% b.h.
Cendres	≤0,5% b.s.	≤0,7% b.s.	≤1,5% b.s.	>1,5% b.s.	<1,5% b.s.
Poder calorífic	≥17.974kJ/kg(b.s.)	≥16.875kJ/kg	≥16.875kJ/kg	≥16.875kJ/kg	17.476-19.470kJ/kg (b.s.)
Sofre	≤0,04% b.s.	≤0,08% b.s.	≤0,08 % b.s.		≤0,08% b.s.
Nitrogen	≤0,3% b.s.				≤0,3% b.s.
Clor	≤0,02% b.s.	≤0,03% b.s.	≤0,03% b.s.		≤0,03% b.s.

Taula 15. Classificació del pèl·let [Font: Observatori de la biomassa]

3.3.2 Briqueta

Es defineix com un aglomerat d'estelles que pot ser fabricada mitjançant diversos materials compactats, des de biomassa forestal procedent de treballs silvícoles, fins a biomassa procedent de residus de indústries de transformació de fusta, passant per biomassa residual municipal, carbó vegetal o una mescla de totes.

Propietats

- Formes molt variades: cilíndrica (més comuna), de prisma quadrat, de prisma hexagonal buit o de maó.
- Dimensions grans: entre 5 i 13cm de diàmetre, i 5 i 50cm de longitud.
- Poder calorífic és de 19.646 kJ/kg.
- Densitat és alta, fet que facilita el transport, manipulació i emmagatzematge.
- Humitat entre 8 i 10% en base humida.

Resulten cares ja que s'han de triturar, homogeneïtzar la mida, assecar fins a una humitat prefixada i compactar la matèria primera. Tot i així, els costos de producció de les briquetes són inferiors als del pèl·let. Aquestes es comercialitzen en caixes o bosses, i s'utilitzen principalment per llars de foc.

3.3.3 Estella

En aquest estudi s'ha escollit l'estella, i no el pèl·let o briqueta, perquè necessita menys elaboració alhora de produir-lo i per tant es redueixen els costos.

Propietats estella:

L'estella de residus de fusta i poda, té característiques molt semblants a l'estella forestal, amb certes diferències.

Forma. Si comparem la forma de l'estella de residus de fusta i poda amb l'estella forestal, no trobarem diferències si és estellat de la mateixa manera.

La forma plana i mida petita permeten augmentar la superfície específica, i a la vegada també augmenta la capacitat calorífica.

Les dimensions de l'estella són: longitud entre 2 i 10cm, amplada entre 2 i 6cm. i el gruix no acostuma a superar els 2cm.

La major qualitat de producte s'obté en mides homogènies i petites. Com més petita és una estella, més car és el procés per obtenir-la, però la seva superfície específica i la seva densitat aparent són més grans.

Humitat. La biomassa de restes de poda, quan esta verda, pot arribar a tenir una humitat superior al 50% b.h., llavors al llarg del temps segons l'espècie, les dimensions del material i les condicions climàtiques, va perdent humitat progressivament fins estabilitzar-se al voltant del 20% b.h o 25% en b.s., valor que s'assoleix després d'unes setmanes a la intempèrie.

La humitat de la biomassa dels residus de fusta, té unes característiques molt semblants a la biomassa forestal, una vegada no és verda, per tant està al voltant del 20% b.h. Preferentment, per ser un bon combustible hauria de tenir un contingut d'humitat com a màxim d'un 30% b.h.

Densitat. L'estella forestal aproximadament té la mateixa densitat i pes que un esteri d'estella de residus de fusta i poda una vegada tenen la mateixa humitat.

La densitat aparent és baixa, aproximadament de 0.25 a 0.35kg/dm^3, varia en funció de la homogeneïtat i dimensió de les partícules.

Percentatge d'escorça. L'estella de residus de fusta i poda conté una proporció menor d'escorça que l'estella forestal, ja que majoritàriament els residus de fusta són fustes i els residus de poda són branquetes que no tenen escorça, en canvi l'estella forestal al contenir troncs més gruixuts la proporció d'escorça és major.

El fet de reduir l'escorça provoca una menor aparició de cendres alhora de la combustió.

Cendres. La quantitat d'aquestes en la biomassa residual de fusta o poda, és superior que a la biomassa forestal, degut a la major presència d'impureses com sorres, malgrat que contingui menys escorça.

Poder calorífic inferior (PCI). Aquest pot oscil·lar entre 3.600 i 4.000kcal/kg, en funció del residu utilitzat i la humitat.

Pintures i vernissos. Una de les diferències entre els dos tipus d'estella, és que la biomassa residual pot contenir pintures i vernissos. Aquests es tindran en compte alhora de posar els filtres a la sortida de gasos d'escapament cap a l'atmosfera.

Normativa de classificació

L'estella es sol definir en funció de normatives referents a la humitat, granulometria, densitat i contingut en cendres. Aquestes són la *UNE-CEN/TS 14961* (espanyola) i la *ÖNORM 7133* (austríaca).

Classificació de l'estella segons la humitat. Normes *UNE-CEN/TS 14961* i *ÖNORM 7133*.

Classificació de l'estella segons humitat		
Humitat	***UNE-CEN/TS 14961***	***ÖNORM 7133***
10% b.h. 15% b.h.	M20 (humitat igual o inferior al 20% b.h.)	W20 (humitat inferior al 20%)

20% b.h. 25% b.h. 30% b.h. 35% b.h. 40% b.h. 45% b.h. 50% b.h. 55% b.h. 60% b.h 65% b.h	M30 (humitat igual o inferior al 30% b.h.) M40 (humitat igual o inferior al 40% b.h.) M55 (humitat igual o inferior al 55% b.h.) M65 (humitat igual o inferior al 65% b.h.)	W30 (humitat entre el 20% i el 30% b.h.) W35 (humitat entre el 30 i el 35% b.h) W40 (humitat entre el 35 i el 40% b.h) W50 (humitat entre el 40 i el 50% b.h)

Taula 16. Classificació de l'estella segons UNE-CEN/TS 14961 i ÖNORM 7133 [Font: Observatori de la biomassa]

Classificació de l'estella segons granulometria. Norma *UNE-CEN/TS 14961*.

Classificació de l'estella segons granulometria. Norma UNE-CEN/TS 14961				
	Rangs de granulometria			Valors màxims permesos
	Fracció fina (màx 5%)	Fracció principal (mín. 80%)	Fracció grossa (màx 1%)	Longitud
P16	<1mm	3,15-16mm	>45mm	<8,5cm
P45	<1mm	3,15-45mm	>63mm	
P63	<1mm	3,15-63mm	>100mm	
P100	<1mm	3,15-100mm	>200mm	

Taula 17. Classificació estella segons granulometria. UNE-CEN/TS14961 [Font: Observatori de la biomassa]

Classificació de l'estella segons la norma *ÖNORM 7133* i tenint en compte la granulometria.

Tipus de biomassa	Estella
Humitat	<35% b.h.
Dimensions	
Longitud	2 - 10cm
Amplitud	2-6cm
Gruix o diàmetre	Gruix < 2cm
Cendra	<1% del pes total (depèn de la puresa de l'estella)
Poder calorífic	15.048-16.720kJ/kg

Taula 18. Classificació estella segons granulometria. ÖNORM 7133 [Font: Observatori de la biomassa]

3.3.4 Comparació de diferents paràmetres de l'estella, pèl·let i briqueta

Valors de referència de diferents paràmetres de l'estella, pèl·let i briqueta:

Tipus de biomassa	Estella	Pèl·let	Briqueta
Humitat	<35% b.h.	<12% b.h.	< 12% b.h.

Longitud	2 - 10cm	1 - 6cm	5 - 50cm
Amplitud	2-6cm	-	-
Gruix o diàmetre	Gruix < 2cm	Ø : 0,6-2cm	Ø : 5-13cm
Cendra	<1% del pes total (depèn de la puresa de l'estella)	<0,5% del pes sec total	0,5% del pes sec total
Poder calorífic	15.048-16.720kJ/kg	16.720-18.810kJ/kg	20.064kJ/kg

Taula 19. Valors de referència de diferents paràmetres de l'estella, pèl·let i briqueta [Font: Observatori de la biomassa]

En comparació amb les estelles, els pèl·lets i les briquetes són més densos, fet que en facilita el transport, la manipulació i l'emmagatzematge.

En el pèl·let o briqueta no és necessari utilitzar coles ni additius, ja que la pressió i la temperatura del mateix procés garanteixen la cohesió del material, evidentment l'estella tampoc.

La briqueta té un poder calorífic alt, seguida del pèl·let i per últim l'estella. L'estella té una humitat més elevada.

L'inconvenient de les briquetes i del pèl·let, és que resulten més cars que les estelles ja que requereixen un procés industrial de fabricació, i per tant una major despesa energètica.

3.4 Logística fins el consumidor d'estella

Per tal que la biomassa sigui aprofitable energèticament, s'han de realitzar un seguit d'operacions fins a obtenir l'estella.

Les operacions de transformació dels residus de fusta i poda, es poden fer en una planta que porta a terme totes les operacions, des del triatge i estellatge fins l'emmagatzematge.

Alimentació del procés de trituració. L'alimentació de la biomassa de fusta i poda a l'inici del procés es duu a terme mitjançant una ploma o grua, i una vegada iniciat el procés es mobilitza amb unes cintes transportadores automàtiques.

Triatge. La biomassa residual conté materials impropis com ferros, plàstics, vidres i sorra, que fan inviable la seva utilització com a font d'energia, ja que crearia gran quantitat de cendres, fums contaminants i desperfectes a la maquinària. Per tant hi ha d'haver un triatge, per aconseguir una biomassa homogènia.

Es disposen dels següents sistemes per fer el triatge:

- Triatge manual o amb maquinària com el toro o grua giratòria. El primer triatge es realitza un cop arriba la biomassa a la planta o magatzem i s'emmagatzema, i un altre triatge quan s'alimenta l'inici del procés de trituració.

  Depenent del residu la classificació és diferent:

  - Poda: es seleccionen troncs, tronquets i branquetes.
  - Voluminosos i fusta: es selecciona tot el que és fusta no especial.

  Hi ha un altre triatge manual on passa per una cinta.

- Triatge amb un separador electromagnètic (imant) S'utilitza per seleccionar restes fèrriques mitjançant la generació d'un camp electromagnètic.
- Triatge amb corrents de Foucault S'utilitza per separar els metalls no fèrrics, com l'alumini, el coure i el zenc a partir d'un separador inductiu de corrents de Foucault.
- Trituració o estellatge. Per tenir el mateix rendiment energètic i que no hi hagi fluctuacions, és necessari que la mida de l'estella sigui constant. I per facilitar la manipulació i tenir un poder calorífic alt, la mida aconsellable ha d'estar al voltant dels 3cm.

Diferents sistemes de trituració:

- Pretrituració Es realitza amb una pretrituradora, que és una màquina de gran potència amb un mecanisme robust i resistent, que actua per ruptura i no per tall. S'utilitza aquesta degut al contingut de metalls que pot tenir la biomassa residual, que fan que no es puguin utilitzar ganivetes.
- Trituració Es realitza amb una trituradora, què és una màquina per reduir la mida de materials no molt durs, que actuen per impacte de peces metàl·liques (martells o dents articulades). El material queda triturat més fi.
- Estellatge. Es realitza amb una estelladora, què és una màquina dissenyada per estellar mitjançant ganivetes, la biomassa no ha de contenir elements durs.

Aspiració. S'han d'aspirar els materials fins produïts després de la trituració o estellatge, es sol fer a partir d'un sistema amb cicló.

Emmagatzematge. Hi ha el primer emmagatzematge quan arriba el residu de biomassa a la planta i, un altre emmagatzematge quan el residu ja està estellat.

L'emmagatzematge del residu de biomassa és a l'exterior formant una pila.

L'emmagatzematge de l'estella permet compensar les fluctuacions de proveïment i un assecatge natural. En condicions òptimes, l'assecat natural de la fusta assoleix uns mínims d'humitat del 30% en b.h. Hi ha tres sistemes d'emmagatzematge de l'estella:

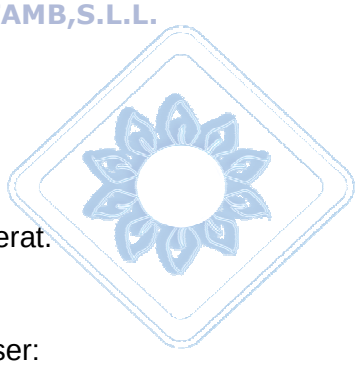
- Emmagatzematge a l'aire lliure, on no s'utilitza cap tipus de protecció, i és molt fàcil que es mulli.
- Emmagatzematge sota tèxtil. S'utilitzen tèxtils, amb una vida útil d' aproximadament 5 anys, que permeten l'evaporació de la humitat de la pila, però impedeixen que entri aigua a l'estella.
- Emmagatzematge sota cobert. S'utilitza un cobert que ha de ser ben airejat

Transport

- Transport de biomassa

Quan es transporta la biomassa residual no especial normalment és transporta des del punt de generació del residu a:

  - Plantes de transferència: gestors de residus
  - Plantes de tractament:



- Planta de compostatge si es tracta de poda.
- Planta de reciclatge i reutilització de fustes, plantes d'aglomerat.
- Dipòsit de residus no especials.

Els vehicles utilitzats per transportar els residus de fusta i poda poden ser:

- Camió amb contenidor (càrrega útil de 8 a 12 T). Aconsellable per distàncies curtes i amb quantitats de càrrega d'estella no molt grans.
- Camió amb remolc (càrrega útil de 24 a 28 T). Aconsellable per distàncies llargues i amb quantitats de càrrega d'estella molt grans.

- Transport d'estella

L'estella normalment es transporta de la planta on s'ha elaborat al consumidor final.

La càrrega al camió es realitza mitjançant una pala i els vehicles utilitzats per transportar l'estella són:

- Camió amb contenidor
- Camió amb remolc o tràiler

Exemple de procés de transformació del residu de biomassa fins el transport de l'estella al consumidor.[4]

[4] Dades facilitades per *Recuperacions Marcel Navarro i Fills, S.L.*

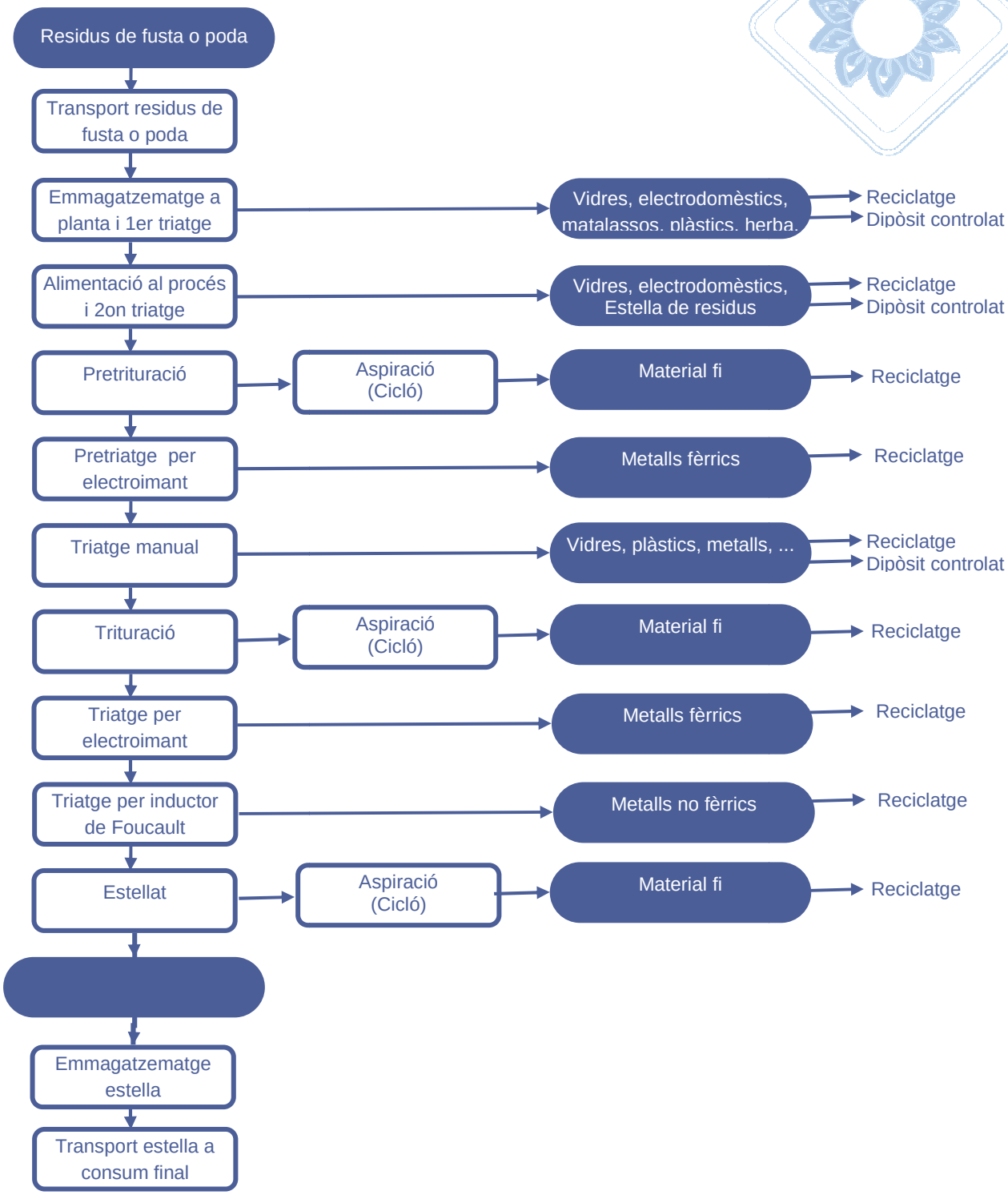


Figura 8. Exemple d'un procés de transformació del residu de fusta o poda fins el transport de l'estella al consumidor [Font: Elaboració pròpia]

3.5 Costos i preu de mercat de l'estella

Els costos i el preu de mercat de l'estella de residus de fusta i poda estan desglossats pel responsable de liquidar els costos:

	Generador de residus de fusta i poda	Responsable del triatge i estellatge dels residus fusta i poda	Consumidor d'estella de fusta i poda
Cost transport dels residus de fusta i poda	30 a 40 €/T		
Cost tractament dels residus de fusta i poda	35 €/T		
Cost del triatge i estellatge		25 €/T	
Transport estella		20 €/T	
Preu consumidor final (preu de mercat)			60 €/T

Taula 20. Costos aproximats per obtenir l'estella de residus de fusta i poda, i preu de mercat [Font: Elaboració pròpia]

Costos a pagar pel generador dels residus de fusta i poda

El generador dels residus ha de pagar el cost del transport i el cost del tractament.

El cost del transport dels residus de fusta i poda és molt aproximat, ja que depèn de la distància, si és càrrega o no complerta i el temps que es triga a realitzar la càrrega i descàrrega. Ha de pagar aproximadament una mitjana de 30 a 40€/T.

El cost del tractament dels residus és aproximadament 35€/T.

Costos a pagar pel responsable del triatge i estellatge dels residus de fusta i poda

El responsable del triatge i estellatge ha de pagar 25€/T aproximadament, i el transport de l'estella que correspon a 20 €/T aproximats.

Preu de mercat de l'estella

El preu de venda al públic de l'estella de restes de fusta i poda és d'una mitjana de 60€/T, on ja s'inclou el transport.

3.6 Preu estella de residus de fusta respecte estella forestal

Degut al poc desenvolupament del mercat de la biomassa a nivell energètic, existeixen pocs agents que es dediquin a la venda dels productes transformats. Els preus poden oscil·lar en funció del producte i de l'estoc.

Estella d'origen forestal (estella de qualitat):

Granulometria	Preu en origen (€/t d'estella amb humitat<30% b.h.)
<2cm	80 - 90
<3cm	70 - 80
3-6cm	60 - 70
Estella sense garbellar (presència de fins)	50

Taula 21. Preus segons enquestes realitzades als productors d'estella [Font: EDER]

Pèl·let d'origen forestal:

Tipus de distribució	Preu en origen (€/T de pèl·let)
Granel	170 – 180
Big bag de 650 a 1200 kg	160 - 185

Taula 22. Preus pèl·let d'origen forestal [Font: EDER]

Així el preu del mercat de l'estella de residus de fusta i poda que és d'una mitjana de 60€/T, és més econòmica que l'estella i que el pèl·let forestal.

3.7 Biomassa respecte altres combustibles

Suposant un preu mig per l'estella i pel pèl·let, i aplicant els seus poders calorífics, s'estableix els preus aproximats per unitat energètica, i es compara amb altres combustibles fòssils en el següent gràfic:

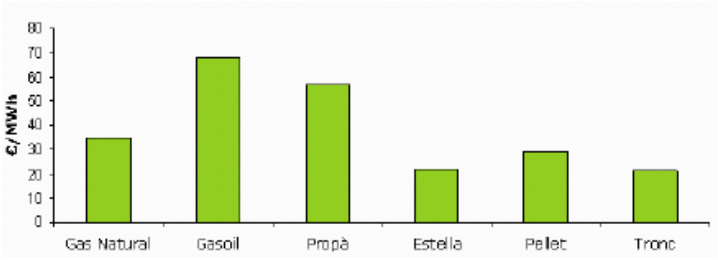


Figura 9.Comparativa preus biomassa respecte altres combustibles [Font: EDER]

Cal destacar que la biomassa com a combustible és més econòmica en comparació als combustibles fòssils. I el preu de l'estella és el més competitiu, quedant per sota, i amb diferència, del preu del pèl·let.

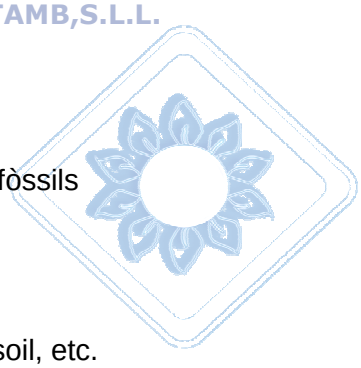
En el següent quadre es comparen els kilograms necessaris, en funció de la humitat, de cada combustible per produir la mateixa energia que produiria un litre de gasoil.

Tipus de combustible	kg equivalents a un litre de gasoil
Pèl·let de fusta amb un màx. del 10% b.h.	2-2,10
Estella amb menys del 25% b.h.	2,5
Estella verda	3,5

Taula 23. Equivalències energètica de biomassa a gasoil [Font: EDER]

Justificació de les xarxes de calor amb biomassa vs combustibles fòssils:

- Tecnologia contrastada i fiable
- Respectuosa amb el medi ambient, evita emissions de GEH
- Elevada eficiència energètica i sostenible
- Compliment del Codi Tècnic de l'Edificació
- Preus interessants de l'energia tèrmica



- Cost no subjecte a futures variacions del preu de combustibles fòssils
- Estalvi econòmic per a l'usuari
- Seguretat de subministrament d'energia tèrmica
- No és necessari instal·lar xarxes de gas natural, dipòsits de gasoil, etc.
- Instal·lacions sense risc d'explosió
- Eliminació d'elements generadors d'energia a l'interior dels edificis
- Recuperació d'espais

4 APLICACIONS ENERGÈTIQUES DE LA BIOMASSA

Els principals processos que permeten transformar la biomassa seca (com és la biomassa forestal i la biomassa residual de la indústria de la fusta) en productes que són utilitzats per a la producció d'energia són: la combustió, la gasificació i la piròlisi.

L'elecció entre un sistema o altre depèn de les característiques del recurs, de la quantitat disponible i del tipus de demanda energètica.

4.1 Processos de generació termoelèctrica

4.1.1 Combustió

El procés de combustió es basa en la transformació de l'energia continguda a la matèria en energia tèrmica mitjançant un procés d'oxidació complet de la matèria amb aire. És un procés termoquímic en què la biomassa és sotmesa a una temperatura d'entre 600 i 1.300ºC, amb excés d'oxigen. L'aprofitament de la calor resultant de la combustió, es realitza per mitjà d'una caldera instal·lada al forn de combustió amb la conseqüent generació de vapor, aigua calenta o bé escalfament d'oli tèrmic o aire, i també es pot generar energia elèctrica depenent de la tecnologia.

La combustió és una tecnologia altament consolidada i presenta un ampli ventall d'aplicacions. En aquest context, existeixen calderes d'aigua calenta per a usos domèstic o industrial, com també s'empren cremadors de biomassa per a processos industrials per a produir vapor (els quals poden formar part de plantes de cogeneració o d'absorció per a generació de fred). També existeixen forns i assecadors per a diversos processos industrials.

En el cas d'una planta de cogeneració que faci servir la tecnologia de combustió per a la generació simultània d'electricitat i calor, el mercat ofereix dues alternatives tecnològiques

- Cicle de Rankine amb turbina de vapor
- Cicle ORC (*Organic Rankine Cycle*)

4.1.2 Gasificació

La gasificació és un procés termoquímic de transformació de matèria d'origen orgànic a un gas bàsicament format per hidrocarburs lleugers, hidrogen, monòxid de carboni i nitrogen. Aquest gas s'anomena gas de síntesi.

La transformació a gas d'un combustible sòlid presenta avantatges de maneig i d'aplicació. Es destaquen diverses característiques:

- En forns i calderes existeix una gran flexibilitat per adaptar-se a les variacions de la demanada. Quan es tracta d'una caldera existent de combustible líquid o gas la transformació és molt senzilla.
- Permet fer-se servir en motors per produir simultàniament calor i energia mecànica o mitjançant un alternador produir energia elèctrica.

- Producció de combustibles de segona generació, com ara l'etanol, l'hidrogen o el dimetil èter.
- Combustió per generació elèctrica, tèrmica o una combinació d'ambdues.

En un procés de gasificació, la biomassa sòlida es converteix en combustible gasós passant per un seguit d'etapes:

1) *Assecatge:* evaporació de l'aigua continguda en la biomassa.
2) *Piròlisis:* procés de desintegració i volatilització tèrmica de la matèria orgànica.
3) *Reducció:* reacció del vapor d'aigua que prové de l'etapa d'assecatge amb el diòxid de carboni (procedent de l'etapa d'oxidació) per generar monòxid de carboni i hidrogen.
4) *Oxidació:* reacció de combustió parcial de la matèria orgànica i char (carbó vegetal).

Pel que fa a la gasificació de biomassa, segons el tipus d'agent gasificant s'obté un gas de síntesi de diferents composicions. L'agent gasificant pot ser aire, oxigen i/o vapor d'aigua. El poder calorífic del gas variarà segons l'agent gasificant que s'utilitzi.

Agent de Gasificació	Poder Calorífic del gas [kWh/Nm^3]
Aire	1.12-1.96
Oxigen	2.8-3.36
Vapor d'aigua	4.2-5.6

Taula 24. Agents gasificants i PCI del gas de síntesis obtingut [Font: EDER]

Un inconvenient del procés de gasificació de la biomassa, especialment si l'aplicació és per a motors, és la necessitat d'obtenir un gas lliure de quitrans i amb escàs contingut en pols.

Existeix la possibilitat d'introduir oxigen directament al gasificador per disminuir considerablement la quantitat de nitrogen en el gas resultant, millorant el seu poder calorífic fins aproximadament 2.500Kcal/m^3 de gas. El producte que s'obté d'aquesta manera se li diu gas mitjà o gas de síntesi.

El gas de síntesi té interès principalment per la possibilitat de transformar-lo, mitjançant processos catalítics, en combustibles líquids i així ampliar les opcions d'aplicació segons el procés, tipus de gasificador, matèria prima i productes resultants, entre d'altres variables.

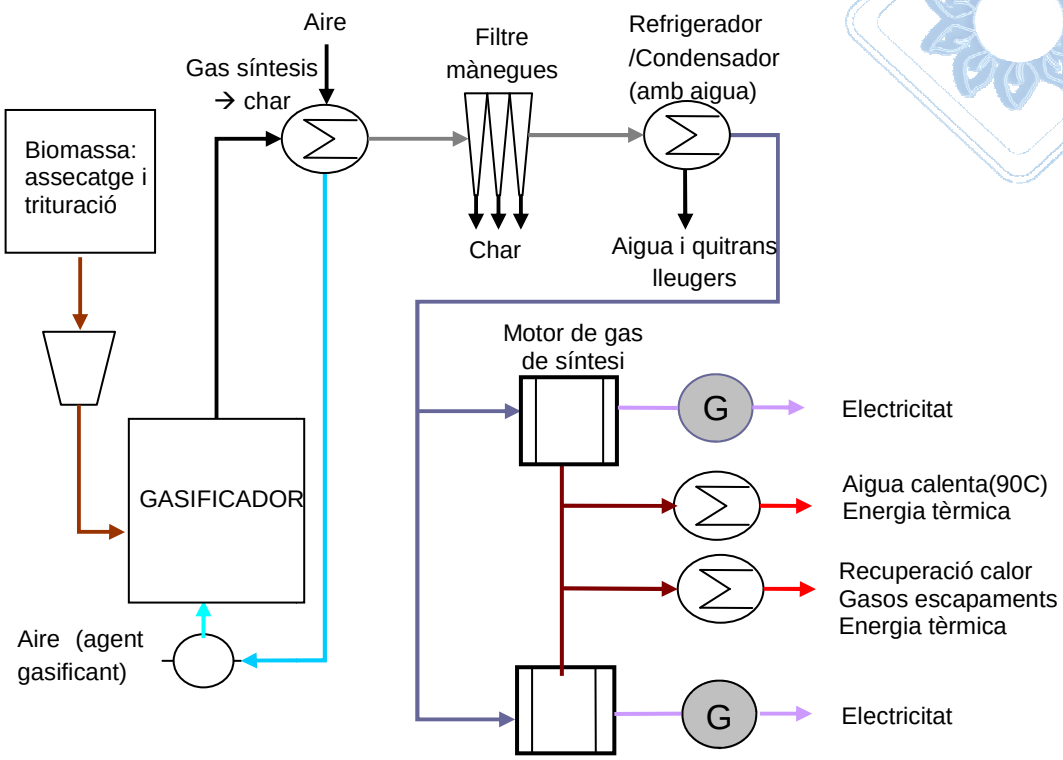


Figura 10. Esquema del procés de gasificació [Font:EDER]

4.1.3 Piròlisi

El procés de carbonització o piròlisi consisteix en sotmetre a temperatures de 500/600ºC els materials de fusta en absència d'oxigen. Els elements constituents de la fusta es transformen en una fracció sòlida formada principalment per carbó, una fracció líquida i una fracció de gas també combustibles.

Existeixen dos tipus de processos de piròlisi: la *piròlisi ràpida o flash* i la *piròlisi lenta*. Segons el temps de residència de la biomassa al pirolitzador, s'obté un producte de piròlisi amb percentatge i composició química diferents. En el cas de la piròlisi lenta, el producte majoritari és el char o carbó vegetal, procés emprat en les antigues carboneres.

El carbó vegetal s'utilitza com a combustible en el sector domèstic, com reductor en metal·lúrgia i a més és possible la seva transformació en carbó actiu amb altres aplicacions industrials.

La piròlisi ràpida dóna com a producte majoritari un gas amb alt percentatge d'elements condensables, s'obté l'oli de piròlisi també anomenat bio-oli.

El procés de piròlisi és endotèrmic, per tant, cal fer una aportació aproximada de 250Kcal/kg, que es pot realitzar amb part de la fracció gasosa. També es pot fer servir una altra part de la fracció de gas per a l'assecat previ de la biomassa, que dóna un increment considerable al rendiment del procés.

A més dels processos artesanals, existeixen tecnologies industrials per l'obtenció de carbó vegetal. El més estès és el forn cilíndric vertical, que no admet fusta de petites dimensions, només en proporcions inferiors al 5%. També s'han desenvolupat forns rotatius, dissenyats per materials de granulometria petita.

És convenient la condensació de la fracció gasosa, separant una part líquida i una altra de gas. La part líquida pot emprar-se per obtenir determinats compostos d'interès per a la indústria química, i amb la fracció de gas es pot afegir energia a l'assecatge i al forn, inclòs els excedents d'energia per altres aplicacions. La possibilitat d'obtenir una fracció líquida de característiques similars al petroli utilitzable com matèria prima energètica o química ha incrementat notablement la intensitat de les investigacions en aquest camp.

A la següent figura s'esquematitza el procés de piròlisi.

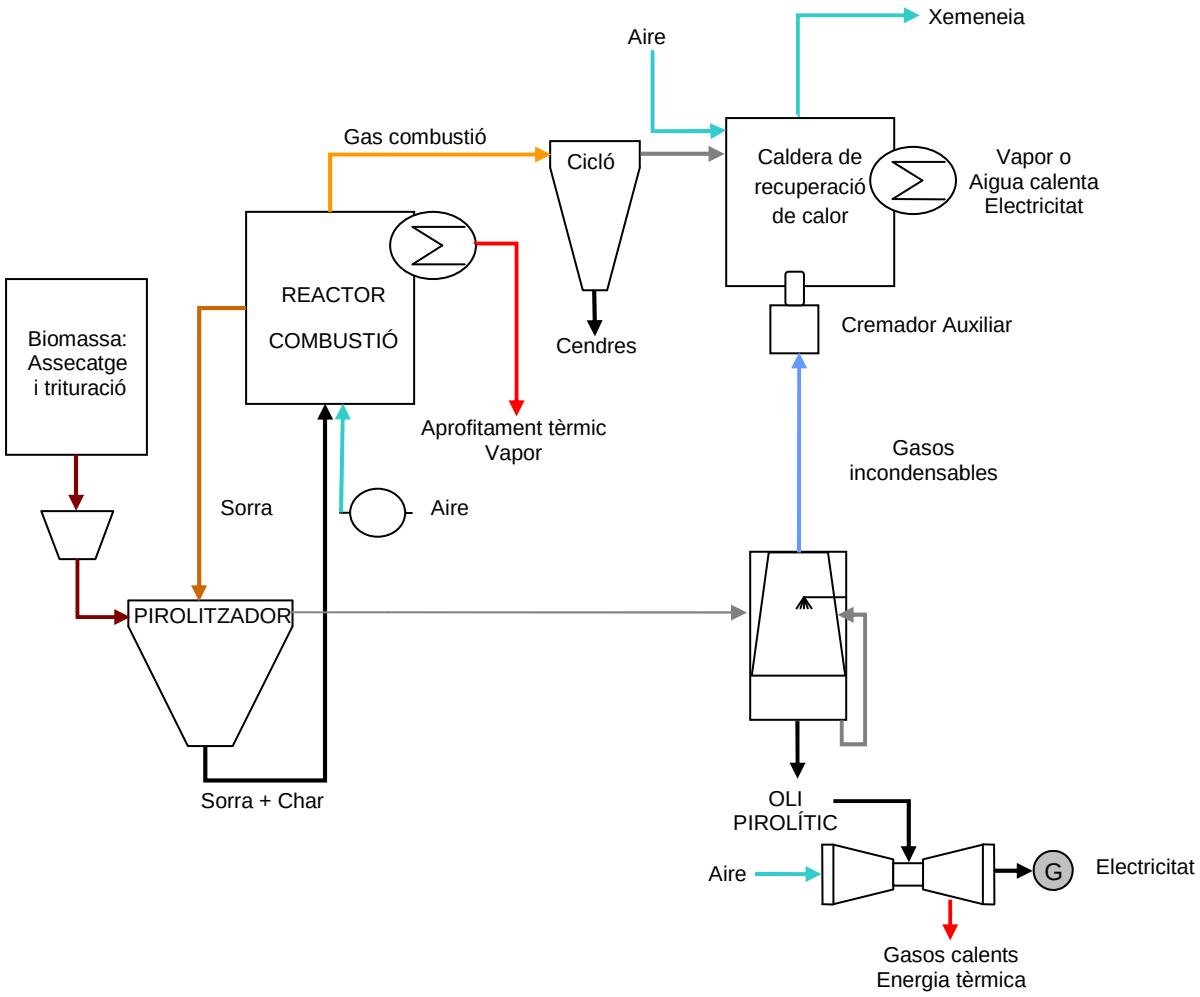


Figura 11. Esquema del procés de piròlisi [Font:EDER]

4.2 Estudi teòric de la cogeneració

4.2.1 Cogeneració

Es consideren sistemes de cogeneració els equips o instal·lacions que permeten la producció conjunta d'electricitat i energia tèrmica útil. La *Directiva 2004/8/CE* defineix cogeneració com 'la generació simultània en un procés d'energia tèrmica i elèctrica'.

En termes pràctics, la cogeneració té sentit on sigui necessària la generació de calor per a un determinat procés productiu o de serveis, i consisteix en substituir la utilització d'una font d'energia primària per produir directament la calor, per l'aprofitament de la calor residual d'una central tèrmica elèctrica. D'aquesta manera es generen simultània i conjuntament electricitat i calor amb un major aprofitament i, per tant, major rendiment del procés global.

4.2.2 Objectius de la cogeneració

El procés de cogeneració té dos objectius bàsics molt concrets:

- Estalvi de l'energia primària en la generació d'electricitat i aprofitament de la calor residual.
- Reducció de la contaminació ambiental amb un màxim aprofitament dels combustibles.

En resum, els beneficis de la cogeneració es tradueixen en un millor aprofitament de l'energia i del combustible, això implica un estalvi en els costos de producció, obtenint una eficiència global de fins a un 40% més que en la generació d'electricitat i energia tèrmica per separat. L'estalvi al qual es pot arribar, en costos, dependrà de l'ús que se li doni a l'equip.

4.3 Sistemes de cogeneració

La manera més comú de classificar els sistemes de cogeneració és segons el motor principal que s'utilitza per generar energia elèctrica.

Les tecnologies de cogeneració considerades per la *Directiva 2004/8/CE del Parlament Europeu i del Consell*, relativa al foment de la cogeneració sobre la base de la demanda de calor útil al mercat interior de l'energia, són les següents:

1) Turbina de gas de cicle combinat amb recuperació de calor
2) Turbina de contrapressió sense condensat
3) Turbina amb extracció de vapor de condensació
4) Turbina de gas amb recuperació de calor
5) Motor de combustió interna
6) Microturbines
7) Motors Stirling
8) Piles de combustible
9) Motors de vapor
10) Cicle Rankine amb fluid orgànic

11) Qualsevol altre tipus de tecnologia o combinació de tecnologies que correspongui a la definició[5] que consta al paràgraf a) de l'article 2 de l'esmentada directiva.

4.3.1 Elements d'una planta de cogeneració

La planta de cogeneració està formada per una turbina de gas (la qual inclou un turbocompressor, una cambra de combustió i la turbina de gas on s'expansionen els fums de combustió), una o més calderes convectives i la turbina de vapor (on es pot incloure condensador, torre refrigeració, bomba hidràulica i el circuit tancat d'aprofitament de l'aigua).

Actualment, les plantes de cogeneració s'han modernitzat i enlloc de seguir el circuit clàssic es realitzen diverses expansions del vapor (en diferents turbines) per donar-li diferents aplicacions.

Definició de les parts d'una planta de cogeneració:

Font d'energia primària. Combustible que reacciona a la caldera.

Element motor. És l'element encarregat de convertir energia tèrmica en mecànica. Depenent del tipus de planta, pot tractar-se de turbines de gas, de vapor o de motors alternatius.

Sistema d'aprofitament d'energia mecànica. En general sol estar format per un alternador que la transforma en energia elèctrica, molt versàtil i fàcil d'aprofitar, però també pot tractar-se de compressors, bombes, etc., on l'energia mecànica s'aprofita directament.

El sistema d'aprofitament de calor. Pot tractar-se de calderes recuperadores de calor de gasos d'escapament o intercanviadors de calor.

Sistemes de refrigeració. Al final, sempre una part de l'energia tèrmica continguda en el combustible no serà aprofitada a la planta i s'ha d'evacuar. Les torres de refrigeració, aerocondensadors o bescanviadors solen ser elements habituals d'aquests sistemes. Un objectiu molt important de disseny d'una planta de cogeneració és minimitzar aquesta quantitat de calor desaprofitada i evacuada a l'atmosfera.

Sistemes de tractament d'aigua. Tant el sistema de refrigeració com el d'aprofitament de calor, requereixen unes especificacions en les característiques fisicoquímiques del fluid utilitzat que consta d'una sèrie de sistemes per al seu tractament i control.

Sistemes de control. S'encarreguen del govern de les instal·lacions, normalment molt automatitzades.

Sistema elèctric. Permet l'alimentació dels equips auxiliars de la planta com l'exportació/importació d'energia elèctrica necessària per complir el balanç. La fiabilitat d'aquesta instal·lació és molt important, així com la possibilitat de treballar aïlladament, fet que permet alimentar la planta en situació de deficiència de xarxa externa i estar disponible immediatament en el moment que es restableixin les condicions del servei.

4.3.2 Procediment de selecció

Per a la selecció de la tecnologia més adequada existeixen certs criteris orientatius que cal tenir en compte per tal de fer un diagnòstic adequat de la situació.

[5] Cogeneració, la generació simultània en un procés d'energia tèrmica útil (calor útil) i elèctrica i/o mecànica.

Al principi es fa un balanç de potencies per al dimensionament dels equips que formaran la planta energètica. És necessari per saber, dins les ofertes del mercat, quins equips s'adaptaran millor a les necessitats a satisfer.

S'ha de decidir la gamma de potencia, tant de turbines com de motors que, encara que sigui suficientment àmplia no cobreix tot el ventall de possibilitats.

Així doncs, un cop definit el balanç de potències correcte podrem fer una primera aproximació de la viabilitat econòmica.

Aquest pas previ és imprescindible ja que donarà una idea aproximada del preu dels equips, les seves prestacions i l'espai necessari per ubicar-los.

Si en aquest pas es veu una viabilitat econòmica acceptable s'ha de passar a l'estudi de viabilitat tècnica.

A l'estudi, el tipus de tecnologia que es busca és una capaç de produir electricitat i calor a partir de la combustió de biomassa sòlida. Aquesta característica ja limita el ventall d'opcions així que a continuació es fa una descripció general dels sistemes de cogeneració existents. Alhora de fer la selecció s'emfatitzarà en els sistemes que compleixin els requisits establerts com el cicle orgànic de Rankine encara que per fer la comparació també s'estudia el motor de gas natural.

4.3.3 Tecnologies de cogeneració

Com s'ha descrit anteriorment, la cogeneració és un vestit a mida per cadascun dels sectors que, en funció de la seva relació calor/electricitat, pot associar-se a un dels cicles típics de cogeneració.

Es defineix a partir de dos cicles termodinàmics: el cicle simple i el cicle combinat.

De totes les tecnologies de cogeneració presentades se'n destaquen algunes:

4.3.3.1 Cicle simple amb motor de gas

En el qual existeix un únic tipus de motor i un aprofitament tèrmic no directe del calor residual.

En funció del motor considerat tindrem:

- Cicle simple amb turbina de gas

La planta de cicle simple amb turbina de gas és la més coneguda. El seu ús és adequat quan no es pretén maximitzar la producció d'electricitat. És a dir, serà útil quan la demanda de vapor sigui molt gran respecte a l'electricitat que es vol produir. Té sobretot avantatges operacionals derivats de la simplicitat del seu cicle.

Aquesta planta es sol aplicar a processos amb demandes de vapor superiors a 10T/h, instal·lant-se turbines de gas de com a mínim 4MW, ja que a potencies menors el preu per kW de les turbines és excessiu alhora que el seu rendiment elèctric decreix ràpidament.

El rang de turbines de gas disponibles per cogeneració varia des de 1MW fins a 50MW mentre que el rendiment elèctric pot arribar al 20 i 40%.

Els combustibles que s'utilitzen poden ser gasos (gas natural, gasos liquats del petroli, gas manufacturat, gas de refineria o gas de procés) o líquids (gasoli, gasolines o fueloil), però sempre lliures de partícules sòlides i impureses.

La tecnologia de cogeneració amb turbina de gas es pot emprar amb gasificació de biomassa però actualment és un procés car.

El procés de la planta de cicle simple consisteix, bàsicament, en què el combustible es crema en una cambra de combustió. Els gasos que s'hi produeixen són introduïts en una turbina, on aquesta energia es converteix en energia mecànica. L'energia residual, obtinguda en forma d'un flux de gasos calents (al voltant de 500ºC), pot ser utilitzada per cobrir, total o parcialment la demanda tèrmica del procés.

Els principals elements que componen una turbina de gas són el compressor, la cambra de combustió i la mateixa turbina (Figura 12).

L'aire s'aspira de l'atmosfera, es comprimeix al compressor i s'introdueix a la cambra de combustió, on es barreja amb el combustible i es produeix la ignició. Els gasos calents obtinguts en la combustió es fan circular per la turbina, i en expansionar-s'hi, permeten accionar, a més del compressor, un alternador.

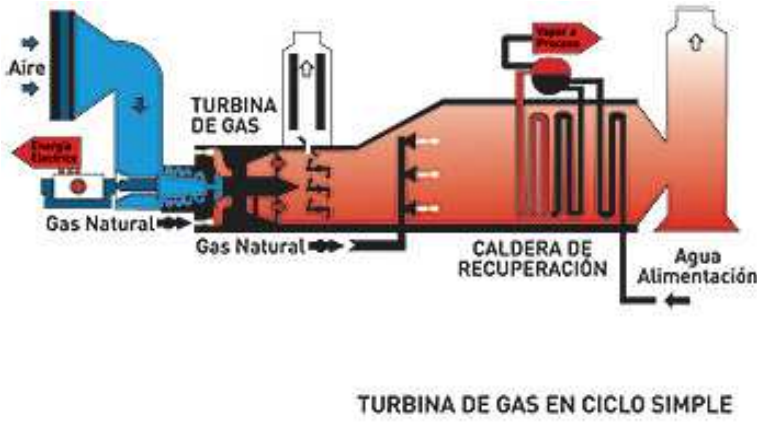


Figura 12. Cicle simple amb turbina de gas. [Font: Gas Natural]

En aplicacions pràctiques s'opta per alguna de les següents alternatives per tal d'ajustar la producció de vapor demandada.

a) Ajustar la producció de la planta de cogeneració a través d'un sistema de postcombustió incorporat al generador de vapor o, disminuint aquesta generació desviant part dels gasos de turbina a l'atmosfera a través del *bypass*. El sistema de postcombustió utilitza com a combustible gas natural i com a comburents els gasos d'escapament de la turbina.

b) Evitar la postcombustió fent treballar el generador de vapor en paral·lel amb les calderes de l'usuari. Aquest procés serà correcte si la demanda de vapor és suficientment elevada com per justificar el manteniment d'una caldera convencional en estat operatiu ja que, en cas contrari, l'eficiència global de la generació de vapor seria inferior al sistema amb postcombustió.

La turbina de gas, en general, treballarà a plena potència així que produirà una quantitat d'electricitat depenent, únicament, de la temperatura de l'aire de combustió (temperatura

ambient). Així que la quantitat de vapor a produir s'ajustarà a la demanda per mitjà de la postcombustió i del desviament de gasos a l'atmosfera.

- Cicle simple amb motor alternatiu

Empra com a combustible gas, gasoil o fueloil.

Aquest tipus de planta genera la major quantitat d'energia elèctrica per unitat de combustible, té un rendiment aproximat del 40% però, per altra banda, comporta major dificultat d'aprofitament de l'energia tèrmica ja que té un nivell tèrmic molt inferior i a més, es troba molt repartit entre gasos d'escapament i circuits de refrigeració.

El procés d'aquesta planta consisteix bàsicament en un motor alternatiu, emprant gas natural com a combustible, els gasos d'escapament del qual alimenten un recuperador de calor que produeix vapor a la pressió d'utilització en el procés del consumidor. El rendiment elèctric del motor de gas comercial és de l'ordre del 40%.

Igual que a les plantes de cicle simple amb turbina de gas, la generació de vapor es pot ajustar a la demanda mitjançant un sistema de postcombustió o a partir del treball en paral·lel amb les calderes convencionals. En aquest tipus de cicle, enlloc d'un cremador de postcombustió acoblat a la caldera, es sol instal·lar una caldera mixta que produeix vapor per recuperació dels gasos d'escapament del motor o mitjançant la combustió de gas natural amb aire ambient. El calor de l'aigua dels circuits de refrigeració del motor és recuperat a partir de la instal·lació d'uns intercanviadors que escalfen l'aigua que s'envia al procés de l'usuari. Quan aquest procés requereix menys calor que el disponible a l'aigua de refrigeració, l'excés s'ha de dissipar a l'atmosfera normalment mitjançant torres de refrigeració que evaporen aigua per produir refrigeració.

Aquestes plantes presenten una gran flexibilitat de funcionament, fet que permet respondre de manera quasi immediata a les variacions de potència, sense que comporti un gran augment del consum específic del motor.

En general, únicament s'aprofita l'aigua d'alta temperatura ja que el nivell tèrmic del circuit de baixa és massa reduït per ser emprat en la majoria de processos.

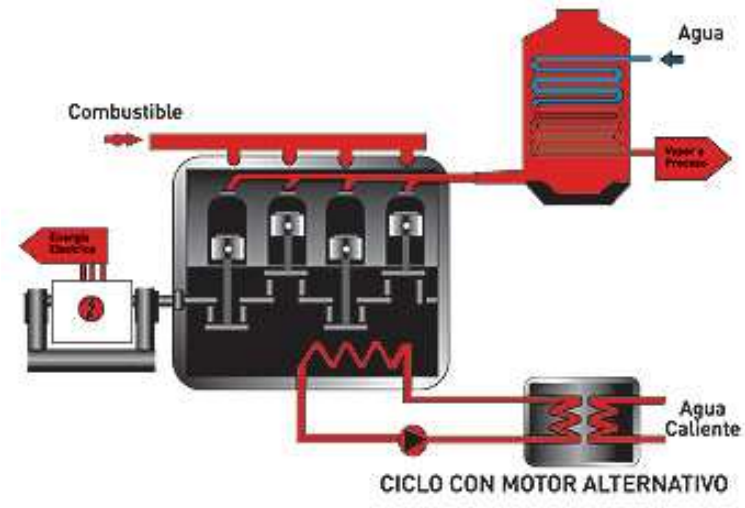


Figura 13. Cicle amb motor alternatiu. [Font: Gas Natural]

4.3.3.2 Cicle combinat

La planta de cicle combinat és una optimització de la de cicle simple amb la instal·lació d'una turbina de vapor de contrapressió, ja que els gasos de la turbina es troben a una temperatura suficientment elevada per produir vapor sobreescalfat a alta pressió.

Aquesta millora, en general, produeix un increment de l'energia elèctrica generada que pot compensar la inversió extra derivada de la instal·lació d'una caldera d'alta pressió, la turbina de vapor i la necessitat d'un tractament d'aigua més rigorós que a la planta de cicle simple. Una segona motivació d'aquest procés és l'augment dels rendiments tèrmics i elèctrics d'aquest tipus d'instal·lacions i l'increment de la relació calor/electricitat.

El cicle combinat, per produir més electricitat amb el mateix combustible, accedeix més fàcilment al compliment del REE si la caldera de recuperació es dissenya adequadament. Quan s'eleven les pressions del vapor per obtenir la màxima eficiència de la turbina de vapor, és aconsellable la disposició d'un generador de vapor amb un segon o tercer calderí a pressions més baixes per assegurar l'eficàcia de la recuperació de calor.

A la figura 15 es mostra de forma esquemàtica un típic cicle combinat de contrapressió amb un generador de vapor d'un nivell de pressió. Aquest cicle, molt semblant al cicle simple, només es distingeix del mateix en el que el generador de vapor té un calderí d'alta pressió i una turbina de vapor a contrapressió (a la pressió de l'usuari).

La regulació de la planta, en funció del vapor demandat a procés s'efectua a través del cremador de postcombustió per demandes altes i de la vàlvula de *bypass* per demandes baixes, encara que a les plantes més modernes per evitar el rebuig de gasos calents es sol instal·lar una segona etapa a la turbina de vapor que condensi el vapor sobrant i millorar així el rendiment global de la planta i l'estalvi d'energia primària. Aquest procés permet el màxim aprofitament de calor dels gasos de la turbina ja que la regulació de la demanda de vapor es realitza a través del condensador de vapor i no a través del *bypass* com en processos més clàssics, de manera que el vapor no consumit en el procés serà útil ja que generarà electricitat.

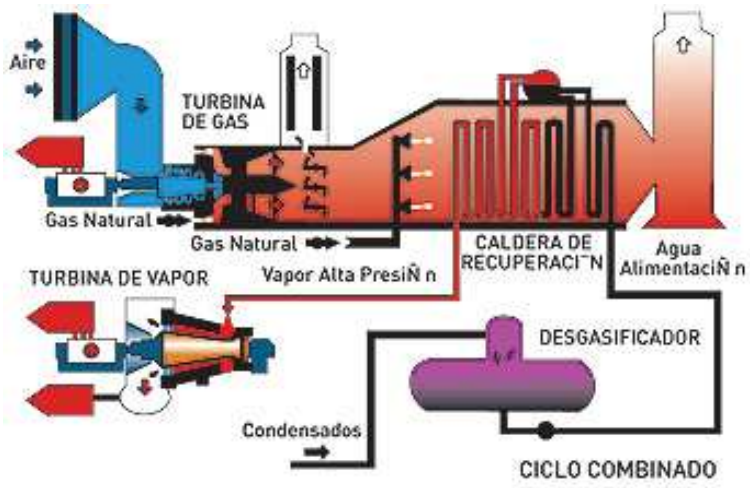


Figura 14. Cicle combinat a contrapressió. [Font: Gas Natural]

La incorporació del cremador de postcombustió permet, com en el cicle simple, augmentar la producció de vapor a la caldera de recuperació. El conjunt d'equips que componen el cicle combinat permeten una elevada flexibilitat en el seu funcionament fins al punt que, en situacions extremes, podria comportar-se com un cicle simple o com una central convencional de generació elèctrica. S'ha de tenir en compte que la incorporació del circuit de vapor d'alta pressió requereix majors mesures de seguretat i una millor formació dels operadors responsables del seu funcionament.

4.3.4 Cicle combinat amb condensació:

Variant del cicle combinat de contrapressió en què la turbina descomprimeix el vapor entre una pressió elevada i una inferior, sempre superior a l'atmosfèrica. És el cicle en el que l'aprofitament de calor es realitza abans de la turbina de vapor, quedant aquesta com a element final del procés. El vapor de sortida es condensa en un condensador que treballa a pressió inferior a l'atmosfèrica, per què el salt tèrmic sigui el major possible.

Es basa en processos estrictament cogeneratius. La principal característica és la gran capacitat de regulació davant demandes de vapor molt variables.

El procés clàssic de regulació d'una planta de cogeneració, consisteix en evacuar gasos a través del *bypass* quan la demanda de vapor és menor a la producció, i utilitzar la postcombustió quan succeeix el contrari.

Baixant sensiblement la seva potència, no s'aconsegueix la seva adaptació a la demanda de vapor degut a una important baixada en el rendiment de recuperació ja que els gasos d'escapament mantenen pràcticament el seu cabal i baixen ostensiblement la seva temperatura. Per aquest motiu, les pèrdues de calor es mantenen pràcticament constants i la planta deixa de complir els requisits de rendiment.

4.3.4.1 Cicle amb turbina de vapor

Es tracta de cicles similars als de les centrals tèrmiques convencionals, amb la diferència de què la turbina de vapor és normalment del tipus contrapressió en comptes de condensació. El vapor a la sortida de la turbina és emprat en un procés industrial. L'energia mecànica és generada per expansió del vapor d'alta pressió procedent d'una caldera convencional.

L'energia mecànica s'empra per moure un generador elèctric o un compressor. Encara que l'energia elèctrica generada per aquest sistema és inferior per unitat de combustible al cicle equivalent amb turbina de gas, el seu rendiment global és major, aconseguint valors del 85-90%.

Quant al procés industrial es requereixen diferents nivells de pressió, es poden emprar les turbines amb extraccions. Són turbines multietapa i es troben disponibles des de potencies de 1MW.

Un avantatge que presenten aquests cicles, és la possibilitat d'emprar qualsevol tipus de combustible: sòlid, líquid o gasós. Aquesta característica fa que aquest cicle s'empri freqüentment a indústries on existeixen combustibles residuals o calors residuals. L'existència d'aquest combustible residual fa que el cicle de turbina de vapor sigui més rentable que un altre basat en turbines de gas o motors. A aquest tipus de cicles se'ls sol anomenar *cicles de cua*.

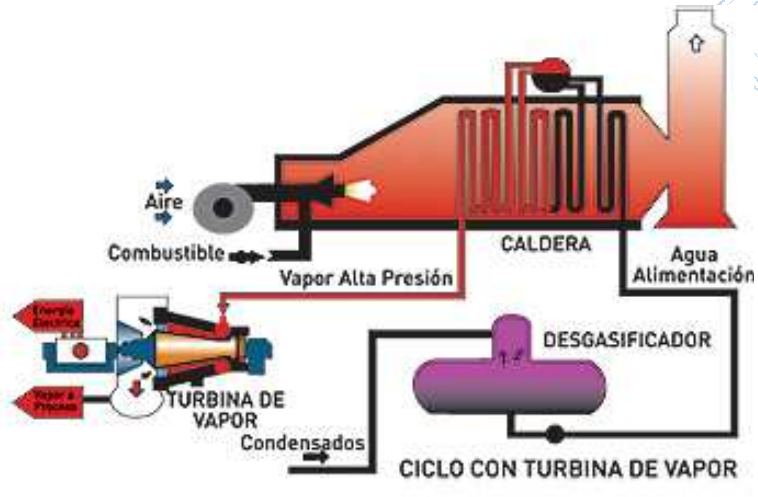


Figura 15. Cicle amb turbina de vapor. [Font: Gas Natural]

4.3.5 Comparació de les tecnologies descrites

La següent taula mostra els estalvis estàndards d'energia primària que s'assoleixen amb els diferents sistemes de cogeneració, com també la seva comparació amb els sistemes convencionals de producció de calor i electricitat. S'hi observa com en tots els casos s'obté un estalvi d'energia primària que es situa entre el 20 i el 30%.

TECNOLOGIA	TIPUS D'ENERGIA PRODUIDA	ENERGIA PRODUIDA (kWh)	COGENERACIÓ		CONVENCIONAL		ESTALVI D'ENERGIA PRIMÀRIA (%)
			Eficiència (%)	Consum d'energia primària (kWh)	Eficiència (%)	Consum d'energia primària (kWh)	
TURBINA DE VAPOR	Electricitat	26.5			0.33		
	Calor	54.4			0.93		
	Total	**80.9**	**81**	**100**		**138.8**	**28**
TURBINA DE GAS AMB POSTCOMBUSTIÓ	Electricitat	17			0.33	31.5	
	Calor	69.7			0.93	74.9	
	Total	**86.7**	**87**	**100**		**126.4**	**21**
TURBINA DE VAPOR	Electricitat	15				45.5	
	Calor	75				80.6	
	Total	**90**	**90**	**100**		**126.1**	**21**
MOTOR ALTERNATIU	Electricitat	36				109	
	Calor	34				36.6	
	Total	**70**	**70**	**100**		**145.6**	**31**

Taula 25. Estalvis estàndards d'energia primària amb el diferents sistemes de cogeneració. [Font: ICAEN]

La qualitat de la calor produïda és una altra característica important que defineix el sistema de cogeneració que cal emprar en cada cas, a la taula 26 s'especifica aquesta característica per a cada sistema.

Els motors de combustió interna s'utilitzen quan cal energia tèrmica en forma d'aigua calenta. En aplicacions industrials, la demanda tèrmica sol ser en forma de vapor, per la qual cosa les instal·lacions més emprades corresponen a turbines de gas, de vapor o cicles

combinats. Cal tenir en compte que en el cas de les turbines de gas i els motors de combustió, els gasos obtinguts poden ser emprats directament en el procés o per escalfar aigua posteriorment.

TECNOLOGIA	AIGUA CALENTA 100ºC	VAPOR <5 bar	VAPOR >5 bar	TURBINES DE VAPOR (MW)
Motor de gas	X	X		X
Motor diesel	X	X		
Turbina de gas			X	X
Contrapressió (vapor)		X	X	
Condensació (vapor)		X	X	
Cicle combinat			X	

Taula 26. Tipus d'energia calorífica produïda pels diferent sistemes de cogeneració. [Font: ICAEN]

4.3.6 Cicle de Rankine convencional

Els sistemes de cogeneració en què ens centrem per aquest estudi parteixen d'una mateixa base. Aquesta, la podem explicar a partir del Cicle de Rankine.

El vapor que es genera en una caldera de biomassa s'obté a alta pressió i temperatura i s'introdueix en una turbina de vapor. Aquest equip es pot definir com una turbomàquina que transforma l'energia d'un flux de vapor en energia mecànica i aquesta última és aprofitada per un generador per a produir electricitat.

Existeixen dos tipus de turbines de vapor:

- Turbines de contrapressió
- Turbines de condensació

A les turbines de contrapressió, el vapor entra a alta pressió i surt a mitja - baixa pressió amb la finalitat d'aprofitar tèrmicament el seu poder entàlpic en algun procés productiu.

Pel que fa a les turbines de condensació, el vapor de sortida de la turbina és un vapor exhaurit (< 1bar). En aquest cas, és necessari un condensador que retorni aquest vapor a la línia de condensats.

En ambdues turbines es pot habilitar una extracció intermèdia de vapor a mitja pressió que es pot aprofitar per diversos usos. Tot i que a major extracció de vapor en els passos intermedis, menor quantitat d'energia elèctrica serà produïda.

La biomassa s'introdueix en el forn de combustió mitjançant una cinta transportadora. Els fabricants de les calderes solen recomanar que les dimensions de la biomassa d'entrada oscil·lin en els següents valors:

- 100x50x20mm
- 50x20x20mm

I aquesta biomassa tingui un màxim d'un 10% de cendres.

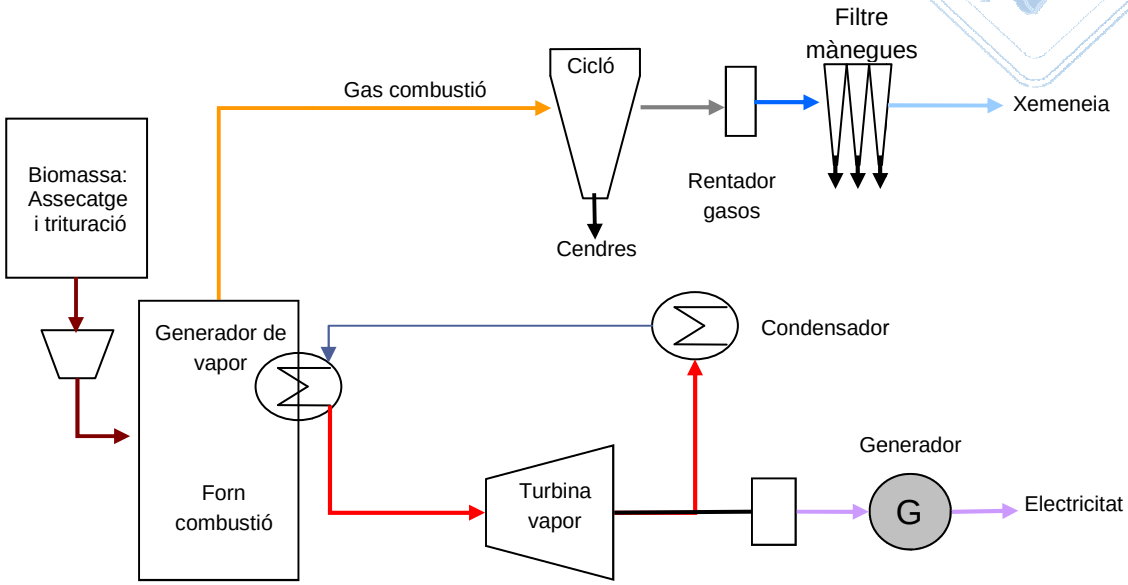


Figura 16. Cicle de Rankine convencional. [Font: EDER]

Els gasos calents de combustió surten a una temperatura de 950ºC. Aquests cedeixen el seu contingut tèrmic al circuit d'aigua a pressió per a generar vapor. Els gasos que surten, s'introdueixen en un economitzador per augmentar l'eficiència del circuit de vapor. Cal un pretractament dels gasos abans de la seva sortida cap a l'atmosfera. Sol realitzar-se una eliminació de partícules en suspensió mitjançant un cicló i un filtre de mànegues o un separador electrostàtic ,depenent també de la legislació ambiental.

El vapor a alta pressió s'introdueix a la turbina de vapor. Aquesta és una turbina de vapor de condensació amb una extracció intermèdia. Es proposa que part d'aquesta extracció de vapor serveixi per a assecar la biomassa d'entrada a la caldera i la resta es reintrodueixi en el circuit d'aigua calenta per a fer més eficient la generació de vapor.

Just a sota d'aquest tipus de turbina, s'hi situa un condensador per tornar a transformar en aigua el vapor exhaurit. Es fa servir aigua com a fluid condensador. La instal·lació es dissenya perquè el volum d'aigua que es necessiti per condensar tingui un salt tèrmic de com a màxim 10ºC. Aquests 10ºC s'hauran de refrigerar mitjançant un sistema de refrigeració per aigua en cicle tancat (torre de refrigeració). La torre de refrigeració necessita una aportació contínua d'aigua, de l'ordre del 1-2% del cabal d'aigua de refrigeració, segons les condicions ambientals. En el cas que hi hagi una limitació d'aigua s'utilitzaria un cicle de refrigeració per aire. La capacitat de refrigeració dels cicles d'aire és sensiblement menor que la dels cicles d'aigua i per aquest motiu només s'instal·laran si no queda més remei.

	Rendiment elèctric net (%)	Rendiment total (%)	Qualitats tèrmiques
Cicle de vapor (cogeneració)	10-45	60-85	Alta
Cicle de vapor (electricitat)	12-27	12-27	-

Taula 27. Rendiments elèctrics Cicle de Rankine [Font: Coronas, A.]

4.3.7 El Cicle de Rankine amb fluid orgànic (ORC)

Es basa en el mateix tipus de sistema Rankine convencional, però a diferència del procés anterior aquest no fa servir vapor d'aigua sinó que utilitza un oli orgànic[6] que permet treballar a pressions més baixes.

Degut a la utilització de substàncies orgàniques com fluids de treball amb un punt d'ebullició baix, el procés s'anomena Cicle orgànic de Rankine (ORC), referint-se al Cicle de Carnot.

L'energia tèrmica produïda per la combustió de biomassa es transmet mitjançant la instal·lació de calderes o un cicle d'oli tèrmic al procés ORC. En aquest cicle s'empra un oli orgànic amb un alt punt d'ebullició com a portador tèrmic. Aplicant l'oli s'assoleix una temperatura de 300ºC sense pressió, fet que facilita el manteniment del procés.

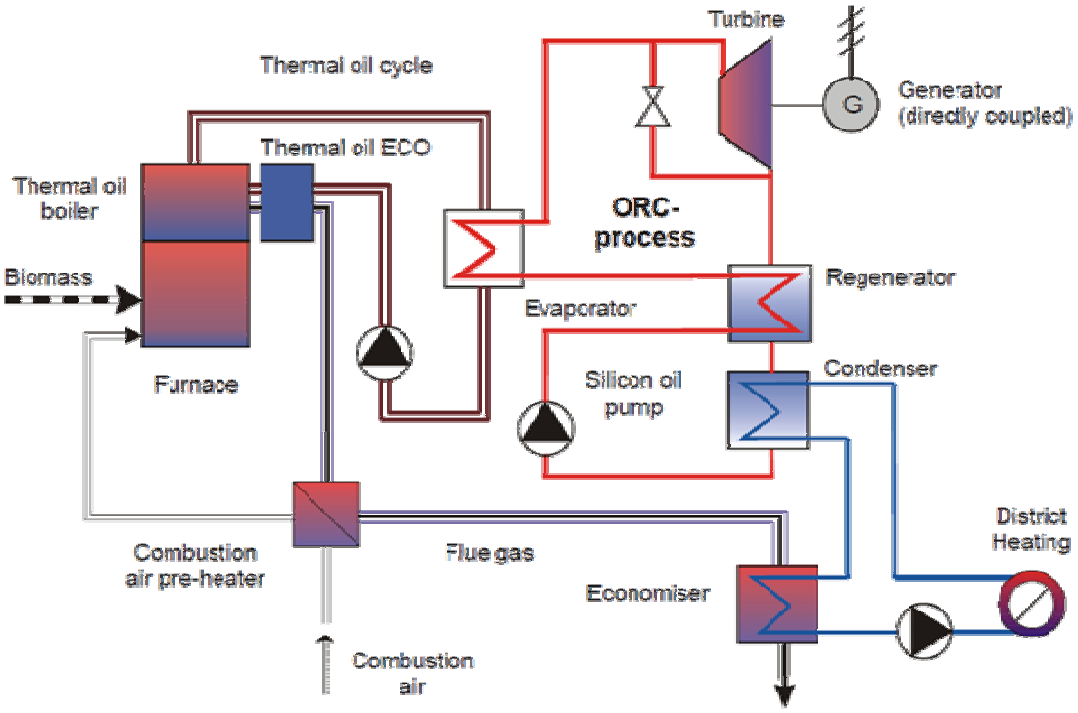


Figura 17. Esquema ORC [Font: Euroheat&Power. Procés a Linz, Àustria]

Es produeix la combustió de la biomassa al forn generant gasos a més de 950ºC, que al passar per un circuit amb oli tèrmic, aquest s'escalfa fins els 300ºC i transmet la seva energia tèrmica a un circuit d'oli orgànic, el qual s'evapora en contacte amb l'oli tèrmic. Aquest fluid orgànic té un punt d'ebullició més baix que el de l'aigua i un elevat pes atòmic.

L'oli orgànic, en forma de vapor, s'introdueix en una turbina que està unida a un generador per produir electricitat. El vapor de la turbina es condensa amb aigua, i torna a entrar al cicle tancat. Aquest pot arribar a sortir a 95ºC del condensador i es pot aprofitar per a diferents processos, generalment per assecar biomassa (possible planta de pèl·lets) o per a aigua calenta (calefacció centralitzada en el cas que la planta estigui situada propera a un municipi).

[6] hidrocarburs com isopentà, isooctà, toluè i oli de silicona

L'avantatge d'aquesta planta és que no es genera vapor d'aigua a alta pressió i per això són menors els costos de la planta i els costos de manteniment (paletes de la turbina i corrosió). Com a inconvenient, aquest cicle ORC té un rendiment elèctric menor que la turbina de vapor i està preparat per a potències elèctriques menors.

Aquestes instal·lacions són de tipus modular, es poden obtenir potències elèctriques que poden anar des de 200kWe fins a 3000kWe, depenent del fabricant.

Comparació de les tecnologia del cicle orgànic (ORC) amb les clàssiques:

TIPUS	AVANTATGES	INCONVENIENTS
Turbina de gas	▪ Ampli ventall d'aplicacions ▪ Alta fiabilitat ▪ Alta temperatura d'energia tèrmica ▪ Rang des de 0.5 a 100 MW ▪ Gasos amb alt contingut d'oxigen	▪ Limitació en el tipus de combustible ▪ Temps de vida relativament curt
Turbina de vapor	▪ Rendiment global molt alt ▪ Extremadament segura ▪ Pot emparar-se tot tipus de combustible ▪ Llarga vida de servei ▪ Ampli rang de potències	▪ Cost elevat ▪ Baixa relació electricitat/calor ▪ No permet aconseguir altes potències elèctriques ▪ Posada en marxa lenta
Motor alternatiu	▪ Elevada relació electricitat/calor ▪ Alt rendiment elèctric ▪ Baix cost ▪ Temps de vida llarg ▪ Bona adaptació a variacions de la demanda	▪ Alt cost de manteniment ▪ Energia tèrmica molt distribuïda i a baixa temperatura
Cicle combinat	▪ Alta producció d'electricitat ▪ Elevada eficiència tèrmica ▪ Operació flexible ▪ Beneficis per a economia d'escala	▪ Limitació en els combustibles ▪ Alt cost d'inversió
ORC	▪ Rendiments elevats (sobretot tèrmics) ▪ Poc sorollós ▪ Excel·lent capacitat pel servei amb càrrega parcial ▪ Alt grau d'automatització ▪ Àmplia gamma de potències ▪ Llarga vida útil i baix cost de manteniment	▪ Rendiment elèctric menor que turbines de vapor ▪ Preparat per potències elèctriques menors ▪ Limitació del funcionament continu, necessàries parades de manteniment degut a la caldera de biomassa

Taula 28. Avantatges i inconvenients dels diferents sistemes de cogeneració. [Font: ICAEN]

4.4 Avantatges de la cogeneració

- Estalvi econòmic. Es produeix una gran diferència econòmica entre el cost de l'electricitat obtinguda de la xarxa i l'energia elèctrica obtinguda a partir de la cogeneració. A més, el cost de l'energia tèrmica obtinguda que es produeix simultàniament a l'energia elèctrica en la cogeneració també té un cost molt inferior a altres sistemes d'obtenció.
- Disminució de pèrdues en el sistema elèctric i inversions en transport i distribució.
- Independència, estabilitat i seguretat del subministrament. Un sistema de cogeneració connectat en paral·lel a la xarxa elèctrica, garanteix la continuïtat del subministrament d'energia elèctrica així com la qualitat de l'energia.
- Augment de la competitivitat industrial i de la competència en el sistema elèctric.
- Estalvi d'energia prima del país. La quantitat d'energia prima necessària per produir electricitat en un sistema de cogeneració és menor que la necessària per una central tèrmica en general. A més de la reducció de costos pel que fa al transport i distribució.
- Disminució de les importacions de combustible.
- Menor impacte mediambiental. El major rendiment fa que la cogeneració sigui una de les formes més eficients ambientalment d'ús i generació d'energia elèctrica. Es redueixen les emissions de GEH, especialment CO_2.
- És una tecnologia la qual, en el sector industrial, està àmpliament difosa.
- Millor adequació entre l'oferta i la demanda energètica que porta a una reducció de costos de l'energia.
- A diferència de les tecnologies solars i eòliques, la cogeneració produeix calor útil no retribuïda per el sistema elèctric, però que permet rebaixar el cost energètic total als usuaris que l'empren i així es millora la seva competitivitat.
- Així mateix, la major eficiència energètica de la cogeneració permet disminuir importacions energètiques i les emissions de gasos nocius i GEH.
- També presenta un seguit de millores en l'àmbit socioeconòmic. D'una banda, aporta un augment de la competitivitat industrial, en reduir-se els costos de producció. D'una altra, representa una millora de l'entorn ambiental motivada per una eficiència energètica més gran i per un ús de combustibles poc contaminants en la major part de les noves instal·lacions de cogeneració.

4.5 Xarxes de calor distribuïda (*District heating*)

A les diferents formes de generació tèrmica i termoelèctrica es pot aprofitar el calor tèrmic residual per a proporcionar climatització a diferents usuaris mitjançant una xarxa de calor distribuïda. Aquestes xarxes de calor també poden ser xarxes de fred.

Les xarxes de calor distribuïda estan formades per dos elements principals

- La sala de màquines i
- El sistema de distribució (sistema de canonades amb bon aïllament per tal de mantenir l'aigua calenta al llarg de tot el circuit).

La climatització per un conjunt d'habitatges té uns pics alts durant l'hivern i un consum mínim durant els mesos d'estiu. Degut a aquesta fluctuació, és interessant afegir una indústria per mantenir una demanda tèrmica lineal al llarg de tot l'any i preferiblement amb continuïtat de demanda tèrmica diària.

5 MARC NORMATIU DE LA COGENERACIÓ AMB BIOMASSA[7]

La producció d'electricitat a partir de fonts renovables es regula des del 1980, encara que és el *RD 2·366/1994*[8], del 9 de desembre quan es menciona la biomassa per a la producció d'electricitat. Des de llavors, la normativa ha evolucionat fins a la publicació i entrada en vigor, l'1 de juny de 2007 del *RD 661/2007*, pel que es regula la producció d'energia elèctrica en règim especial. Quasi al mateix moment, també és publicat el *RD 616/2007* de foment de la cogeneració, que persegueix l'estalvi d'energia primària a través de la promoció de la cogeneració d'alta eficiència.

El *RD 661/2007* substitueix el *RD 436/2004*, pel qual s'estableix una metodologia per a l'actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica. Aquest *RD*, crea un escenari favorable per les cogeneracions amb biomassa, especialment en el sector terciari, i es mostra exigent amb les cogeneracions amb poca valorització de la calor.

Respecte a la rendibilitat econòmica de la producció elèctrica, el nou *RD* indueix a què les cogeneracions amb biomassa aconsegueixin unes rendibilitats raonablement atractives, tant si es cedeix l'electricitat al distribuïdor com si es ven l'electricitat al mercat. En aquest segon cas, el benefici pot ser major, però existeix un cert risc en la retribució final a percebre derivat de la participació al mercat diari de l'electricitat.

En el cas de vendre l'electricitat al mercat, la prima varia segons el preu del mercat de referència. Per aquest motiu s'estableixen uns límits inferiors i superiors per cada tecnologia per a la suma del preu del mercat de referència i prima de referència.

La producció elèctrica amb biomassa, sigui cogeneració o no, i en particular les instal·lacions posades en marxa a partir del dia 1 de gener de 2008, es disposaran segons el *RD 661/2007*.

5.1 Definició de cogeneració

S'entén com la producció combinada de calor o fred útil amb valor econòmic justificable, i energia elèctrica o mecànica.

S'entén per energia tèrmica útil, la produïda en un procés de cogeneració per satisfer una demanda econòmicament justificable.

El rendiment de les instal·lacions de cogeneració es dóna per la formula:

[7] El marc normatiu es basa en el RD 661/2007, tota la informació inclosa en aquest apartat és una simplificació d'aquest.

[8] Llei 82/1980, de 30 de desembre, sobre la conservació de l'energia.

$R = \frac{(E+V)}{Q}$, on:

Q = consum d'energia primària, mesurat per el poder calorífic inferior del combustible emprat.

V = producció de calor útil o energia tèrmica útil

E = energia elèctrica generada mesurada en borns d'alternador i expressada com energia tèrmica, amb un equivalent de 1kWh = 860kcal

El rendiment elèctric equivalent (REE) de la instal·lació es determinarà per:

$$REE = \frac{E}{\left[Q - \left(\frac{V}{\text{Re } fH}\right)\right]}$$, on:

Ref H = valor de referència del rendiment per a la producció separada de calor[9].

Per la determinació del REE en el moment d'estendre l'acta de posada en servei d'una planta, es comptabilitzaran els paràmetres Q, V i E durant un període ininterromput de dues hores de funcionament a càrrega nominal.

Als efectes de justificar el compliment del REE a la declaració anual, s'empraran els paràmetres Q, V i E acumulats durant aquest període.

Els valors de REE mínims per cogeneracions amb biomassa són:

- Biomassa inclosa als tipus b.6 i b.8: 30%
- Biomassa inclosa al grup b.7.2: 50%

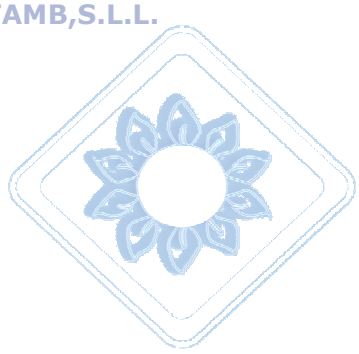
Per a plantes de menys de 1MW, l'exigència es redueix en un 10%, és a dir, 27% i 45% respectivament.

5.1.1 Aprofitament de calor útil per a la climatització d'edificis

En el cas de plantes de cogeneració que emprin calor per la climatització d'edificis, s'ha de considerar un període diferent de l'anual per al càlcul del REE.

S'efectuen 2 liquidacions semestrals. Es retribueix l'electricitat, que associada a l'energia tèrmica útil compliria amb el REE requerit segons la formula:

[9] Publicat a l'Annex II de la *Decisió de la Comissió Europea de 21 de desembre de 2006*, per la qual s'estableixen valors de referència de l'eficiència harmonitzats per la producció per separat d'electricitat i calor de conformitat amb el disposat a la *Directiva 2004/8/CE del Parlament Europeu i el Consell. DOCE 6/2/2007*.



$$E_{REE} = \frac{V}{\text{Re } fH * \left(\frac{1}{\frac{n_e - 1}{REE_{mín}}} \right)}$$

E_{REE} = energia elèctrica que compliria amb el REE mínim requerit, considerant l'energia tèrmica útil real mesurada. Aquesta energia elèctrica no pot superar el valor de l'electricitat venuda a la xarxa en el període considerat.

V = producció de calor útil o energia tèrmica útil.

Ref H = valor de referència del rendiment per la producció separada de calor, conforme la Directiva 2004/8/CE.

η_e = rendiment exclusivament elèctric de la instal·lació (E/Q), expressat en tant per 1.

$REE_{mín}$ = REE mínim requerit, expressat en tant per 1.

5.1.2 Combustibles de cogeneració amb biomassa[10]

La producció d'electricitat mitjançant cogeneració s'enquadra a l'epígraf a.1.3 de les tarifes, és a dir, es distingeix clarament de la producció elèctrica amb biomassa (grups b.6 i b.8).

La retribució per l'electricitat entregada per una planta de cogeneració de biomassa varia en funció de la potència elèctrica de la planta (menor o major de 2 MW) i del combustible emprat. Segons el combustible emprat, les cogeneracions es classifiquen en:

- *b.6.1.* Cultius energètics d'origen agrícola o forestal.
- *b.6.2.* Residus generats en la neteja i manteniment de jardins i residus de l'activitat agrícola originada en les activitats de producció.
- *b.6.3.* Residus d'aprofitaments silvícoles de masses forestals.
- *b.7.2.* Biogàs procedent de digestors utilitzant residus ramaders, agrícoles i les respectives indústries en les que s'utilitzi la digestió anaeròbia individualment i en co-digestió.
- *b.8.1* Residus de la industria del sector agrícola.
- *b.8.2* Residus de les indústries forestals de primera i segona transformació.

5.1.3 Acreditació del REE

Qualsevol instal·lació de cogeneració a la que se li exigeixi el compliment d'un REE mínim haurà de calcular i acreditar a finals d'any el REE real aconseguit per la seva instal·lació.

[10] *RD 661/2007.* CAPÍTOL I. Objecte i àmbit d'aplicació. Article 2, on es descriuen els tipus de combustible.

Amb aquesta finalitat també haurà d'acreditar i justificar el calor útil produït per la planta i efectivament aprofitat per la instal·lació consumidora del mateix.

5.1.4 Inspeccions de les cogeneracions

L'Administració General de l'Estat, a través de la Comissió Nacional de l'Energia, i en col·laboració amb els òrgans competents de les Comunitats autònomes corresponents, realitzarà inspeccions periòdiques i aleatòries al llarg de l'any en curs, sobre aquelles instal·lacions de cogeneració objecte del compliment del requisit de REE. Seguint els criteris d'elecció i indicacions que la Secretaria General de l'Energia del Ministeri de Indústria, Turisme i Comerç imposi a cada cas, ajustant-se el nombre total d'inspeccions efectuades anualment a un mínim del 10% del total d'instal·lacions de cogeneració existents, que representin com a mínim el 10% de la potència instal·lada dins el subgrup corresponent.

Aquestes inspeccions, s'estendran a la verificació dels processos i condicions tècniques i de confort que donin lloc a la demanda de calor útil.

5.1.5 Producció elèctrica simple

Els sistemes de generació elèctrica a condensació, amb biomassa i/o biogàs han d'arribar a uns nivells mínims d'eficiència per la seva generació bruta d'energia elèctrica, és a dir, per ser inclosos al règim especial i beneficiar-se de la retribució, aquestes plantes han d'assolir els rendiments elèctrics mínims següents:

Potència	Rendiment
Fins a 5 MW	18%
5 – 10 MW	20%
10 – 20 MW	22%
20 – 50 MW	24%

Taula 29. Nivells mínims d'eficiència per formar part del règim especial [Font: RD 616/2007]

El càlcul de l'eficiència es realitzarà conforme a la següent formula:

Eficiència = $\frac{[PEB]\times 0{,}086}{EPC}$, on:

[PEB] = producció elèctrica bruta anual, en MWh.

EPC = energia primària consumida, en tones equivalents de petroli, comptabilitzant a PCI.

El fet de no assolir els nivells d'eficiència establerts podrà donar lloc a la revocació de la condició de productor d'electricitat en règim especial, o a la supressió del règim econòmic.

5.2 Instal·lacions híbrides[11]

En el cas de plantes en les que la biomassa no sigui la única font d'energia primària, o coexisteixin biomasses enquadrades a diferents grups, la retribució de cadascuna de les tecnologies i/o combustibles es farà atenent a l'energia aportada per cada una de les fonts, en funció de la massa i del PCI (kWh/kg) de cadascuna.

5.3 Estructura de la retribució[12]

Per a la venda de l'energia elèctrica exportada a la xarxa, es pot escollir una de les següents opcions:

- Tarifa regulada: el component principal del preu és fixa i anomenada tarifa base (Ptr), a la que s'apliquen una sèrie de complements.
- Mercat d'energia elèctrica: el preu segueix el preu de l'electricitat al mercat cada hora, incrementant en una determinada prima i una sèrie de complements. La retribució principal és, en aquest cas, la suma del preu del mercat horari diari (PMD) més una prima (P).

En qualsevol cas, el productor d'electricitat s'ha de mantenir a l'opció escollida fins passats 12 mesos des del canvi anterior.

Els components que es sumen a la retribució principal són:

- Complement per energia reactiva (CR): ambdues opcions reben un complement per aquest tipus d'energia.
- Garantia de potència (GP): les plantes que es dirigeixin al mercat rebran un complement per GP al emprar una energia primària gestionable.
- Complement per eficiència (CEF): totes les plantes que sobrepassin els REE mínims exigits rebran un CEF. Només aplicable a cogeneració.
- Complement per discriminació horària (DH): complement opcional per les plantes en opció de tarifa.
- Desviaments (Des): totes les instal·lacions constaran d'un cost de desviament per la variació entre la previsió i l'exportació real.

De manera resumida, els preus de venda d'electricitat es formen:

Opció 1. Tarifa regulada única: PFT = Ptr + CR + DH + Cef – Des.

Opció 2. Mercat: PFM = PMD + P + GP + CR + Cef – Des

[11] *RD 661/2007. CAPÍTOL III. Article 23.*

[12] *RD 661/2007. CAPITOL IV. Règim econòmic.*

Els preus regulats, les primes de referència i els límits superior i inferior, es fixen per a cada grup; és a dir, hi ha una primera distinció entre la cogeneració i la sola producció elèctrica, i després, es distingeix atenent al combustible i la potència instal·lats.

5.3.1 Complement per energia reactiva

Tota instal·lació acollida al règim especial, rebrà un complement per energia reactiva pel manteniment d'uns determinats valors de factor de potència. Aquest complement és un percentatge en funció del factor de potència amb el que s'entregui l'energia, del valor de 7,8441 c€/kWh, que serà revisat anualment. Els coeficients de bonificació o penalització, segons el factor de potència i el període horari són els següents:

Tipus de factor	Factor de potència	Bonificació o penalització (%)		
		Punta	Pla	Vall
Inductiu	Fp < 0.95	-4	-4	8
	0.96 > Fp – 0.95	-3	0	6
	0.97 > Fp -0.96	-2	0	4
	0.98 > Fp -0.97	-1	0	2
	1.00 > Fp -0.98	0	2	0
	Fp = 1.00	0	4	0
Capacitiu	1.00 > Fp -0.98	0	2	0
	0.98 > Fp – 0.97	2	0	-1
	0.97 > Fp – 0.96	4	0	-2
	0.96 > Fp – 0.95	6	0	-3
	Fp < 0.95	8	-4	-4

Taula 30. Valors del coeficient de bonificació o penalització segons el factor de potència [Font: ICAEN]

A les hores punta es bonifica la generació de reactiva i a les hores vall es bonifica l'absorció de reactiva.

5.3.2 Garantia de potència

La retribució aproximada és de 2€/MW de potència instal·lada per cada hora. Es retribueix a tota la potència neta instal·lada en totes les hores de l'any. Només és d'aplicació a les instal·lacions que venguin la seva electricitat al mercat.

5.3.3 Complement per eficiència

Aquest s'aplica a l'electricitat cedida al sistema per les plantes de potència nominal inferior o igual a 100MW. El complement es calcula segons la següent formula:

Complement eficiència $= 1{,}1 \times \left(\frac{1}{REE_{\min}} - \frac{1}{REEi} \right) \times Cmp$, on:

REE_{min} = REE mínim per tecnologia.

REE_i = REE acreditat per la planta.

Cmp = cost de la matèria prima, publicat trimestralment pel Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç.

REE mínim	Generador	Increment REE			
		+5%	+10%	+15%	+20%
30%	Cogeneració amb biomassa sòlida	0,3492	0,6667	0,9565	1,222
50%	Cogeneració amb biogàs	0,2095	0,4000	0,5739	0,7333

Taula 31. Exemples de valors del Cef en c€/kWh per a un Cmp = 20 €/MWhPCS [Font: Biomassa, producció elèctrica i cogeneració. IDAE]

5.3.4 Discriminació horària

Les instal·lacions de cogeneració (a.1.3.) i de producció (b.6, b.7 i b.8) que hagin escollit cedir la producció elèctrica al distribuïdor, és a dir, tarifa fixa, poden acollir-se al règim de discriminació horària que defineix horaris punta de 11 a 21h a l'estiu i de 12 a 22h a l'hivern, corresponent les hores vall a la resta d'hores del dia.

La quantitat a percebre per l'electricitat a l'hora punta serà la que li correspongui segons la tarifa multiplicada per 1,0462, per tant, un increment del 4,62%.

Per l'electricitat cedida en hores vall, la tarifa es multiplica per 0,967, que correspon a un descompte del 3,3%.

5.3.5 Desviaments

Es tracta de les diferències entre energia que es programa vendre i la que realment és entregada a la xarxa.

Com a novetat, les instal·lacions que hagin escollit la tarifa regulada realitzaran la venda de la seva energia a través del sistema d'ofertes gestionat per l'operador del mercat als efectes de la quantificació dels desviaments d'energia, realitzant ofertes de venda d'energia a preu zero al mercat diari i, en el seu cas, a l'intradiari.

A aquestes instal·lacions se les repercutirà el cost de desviament fixat al mercat organitzat per cada període de programació. El cost del desviament a cada hora, se li influeix sobre la diferència en valor absolut entre la producció real i la previsió.

5.4 Tarifes regulades i primes

5.4.1 Tarifes i primes de referència per a cogeneració amb biomassa

Les tarifes i primes de referència, que són d'aplicació a l'electricitat exportada per plantes de cogeneració que utilitzen biomassa com a combustible, s'inclouen a la següent taula que discrimina per tipus de combustible, potència entregada màxima i antiguitat de la planta.

5.4.2 Preus i primes de producció elèctrica simple

Els grups i subgrups relacionats amb la biomassa són els mateixos que els descrits per definir els combustibles del grup a.1.3 de cogeneració amb biomassa. A la següent taula

s'indiquen les tarifes regulades, les primes de referència i els límits superior i inferior. Aquests últims s'apliquen només a la venda en mercat, ja sigui la planta de cogeneració o de generació simple.

Subgrup	Combustible	Potència	Termini	Tarifa regulada (c€/kWh)	Prima de referència (c€/kWh)
a.1.3	b.6.1	P≤2 MW	Primers 15 anys	16,0113	11,6608
			A partir de llavors	11,8839	0,0000
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	14,6590	10,0964
			A partir de llavors	12,3470	0,0000
	b.6.2	P≤2 MW	Primers 15 anys	12,7998	8,4643
			A partir de llavors	8,6294	0,0000
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	10,7540	6,1914
			A partir de llavors	8,0660	0,0000
	b.6.3	P≤2 MW	Primers 15 anys	12,7998	8,4643
			A partir de llavors	8,6294	0,0000
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	11,8294	7,2674
			A partir de llavors	8,0660	0,0000
	b.7.1		Primers 15 anys	8,2302	4,0788
			A partir de llavors	6,704	0,0000
	b.7.2	P≤500 kW	Primers 15 anys	13,3474	10,0842
			A partir de llavors	6,6487	0,0000
		500 kW ≤ P	Primers 15 anys	9,9598	6,1009
			A partir de llavors	6,6981	0,0000
	b.7.3		Primers 15 anys	5,3600	3,0844
			A partir de llavors	5,3600	0,0000
	b.8.1	P≤2 MW	Primers 15 anys	12,7998	8,4643
			A partir de llavors	8,6294	0,0000
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	10,9497	6,3821
			A partir de llavors	8,2128	0,0000
	b.8.2	P≤2 MW	Primers 15 anys	9,4804	5,1591
			A partir de llavors	6,6506	0,0000
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	7,1347	2,9959
			A partir de llavors	7,1347	0,0000
	b.8.3	P≤2 MW	Primers 15 anys	9,4804	5,4193
			A partir de llavors	6,6506	0,0000
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	9,3000	4,9586
			A partir de llavors	7,5656	0,0000

Taula 32. Retribució de l'electricitat produïda per cogeneracions amb diferents tipus de biomassa [Font: Article 35 apartat 3 (a.1.3) del RD 662/2007]

Grup	Subgrup	Potència	Termini	Tarifa regulada (c€/kWh)	Prima de referència (c€/kWh)	Límit Superior (c€/kWh)	Límit Inferior (c€/kWh)
b.6	b.6.1	P≤2 MW	Primers 15 anys	15,8890	11,5294	16,6300	15,4100
			A partir de llavors	11,7931	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	14,6590	10,0964	15,0900	14,2700
			A partir de llavors	12,3470	0,0000		
	b.6.2	P≤2 MW	Primers 15 anys	12,5710	8,2114	13,3100	12,0900
			A partir de llavors	8,4752	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	10,7540	6,1914	11,1900	10,3790
			A partir de llavors	8,0660	0,0000		
	b.6.3	P≤2 MW	Primers 15 anys	12,5710	8,2114	13,3100	12,0900
			A partir de llavors	8,4752	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	11,8294	7,2674	12,2600	11,4400
			A partir de llavors	8,0660	0,0000		
b.7	b.7.1		Primers 15 anys	7,9920	3,7784	8,9600	7,4400
			A partir de llavors	6,5100	0,0000		
	b.7.2	P≤500 kW	Primers 15 anys	13,0690	9,7696	15,3300	12,3500
			A partir de llavors	6,5100	0,0000		
		500 kW ≤ P	Primers 15 anys	9,6800	5,7774	11,0300	9,5500
			A partir de llavors	6,5100	0,0000		
	b.7.3		Primers 15 anys	5,3600	3,0844	8,3300	5,1000
			A partir de llavors	5,3600	0,0000		
b.8	b.8.1	P≤2 MW	Primers 15 anys	12,5710	8,2114	13,3100	12,0900
			A partir de llavors	8,4752	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	10,7540	6,1914	11,1900	10,3790
			A partir de llavors	8,0660	0,0000		
	b.8.2	P≤2 MW	Primers 15 anys	9,2800	4,9214	10,0200	8,7900
			A partir de llavors	6,5100	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	6,5080	1,9454	6,9400	6,1200
			A partir de llavors	6,5080	0,0000		
	b.8.3	P≤2 MW	Primers 15 anys	9,2800	5,1696	10,0200	8,7900
			A partir de llavors	6,5100	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primers 15 anys	8,0000	3,2199	9,0000	7,5000
			A partir de llavors	6,5080	0,0000		

Taula 33. Retribució de l'electricitat produïda per instal·lacions que utilitzen diferents tipus de biomassa dins la categoria b), grups b.6, b.7 i b.8: biomassa i biogàs [Font: Article 36 del RD 661/2007]

5.5 Actualitzacions i revisió de preus i primes variables per instal·lacions de biomassa

5.5.1 Actualitzacions

En general, els imports de les tarifes, primes, complements i límits superior i inferior per la biomassa s'actualitzaran anualment segons l' IPC excepte:

0,25% fins al 31 de desembre de 2012

0,50% a partir de llavors

els imports que resultin de qualsevol de les actualitzacions contemplades al punt anterior seran d'aplicació a la totalitat d'instal·lacions de cada grup, amb independència de la data de posada en marxa de la instal·lació.

5.5.2 Revisions

Durant l'any 20110, segons el grau de compliment del *Pla d'Energies Renovables (PER) 2005-2010* i de *l'Estratègia d'Estalvi i Eficiència Energètica a Espanya (E4)*, així com dels nous objectius que s'incloguin al pròxim PER per al període 2011-2020, es revisaran les tarifes, primes, complements i límits definits atenent als costos associats a cada una de les tecnologies, el grau de participació del règim especial en la cobertura de la demanda i en la seva incidència a la rendibilitat raonables amb referència al cost del diner al mercat de capitals. Cada quatre anys a partir d'aquest moment, es realitzarà una nova revisió mantenint els criteris anteriors.

5.6 Límits màxims i mínims

La prima només s'atorga a les instal·lacions que venen la seva electricitat al mercat, ja siguin de cogeneració o simplement de producció d'electricitat. La prima consisteix en una quantitat addicional al preu que resulti del mercat organitzat o el preu lliurement negociat pel titular de la instal·lació.

Per les instal·lacions alimentades amb biomassa s'estableixen unes primes de referència i uns límits fixes per la suma del preu del mercat de referència i la prima de referència.

La prima real a percebre a cada hora varia en funció de la suma de la mateixa i el preu del mercat, i es calcula de la següent manera:

1. Per valorar el preu del mercat de referència més la prima de referència compresos entre el límit superior i inferior establerts per un determinat grup i subgrup, el valor a percebre serà la prima de referència per el grup en qüestió en aquesta hora.
2. Per valors del preu de mercat de referència més la prima de referència, inferiors o iguals al límit inferior i el preu horari del mercat diari en l'hora en concret.
3. Per valors del preu de mercat de referència compresos entre el límit superior menys la prima a percebre serà la diferència entre el límit superior i el preu del mercat de referència en aquella hora.
4. Per valors del preu del mercat de referència superiors o iguals al límit superior, el valor de la prima a percebre serà zero en aquella hora.

6 ESTUDI D'ALTERNATIVES AL SECTOR PLA DE BAIX DE DOMENY

A continuació, es fa l'estudi de les diverses alternatives tingudes en compte referents a la producció elèctrica i tèrmica a partir de gas i biomassa amb cogeneració, detallant cadascuna de les opcions que es van escollint a mesura que avança el procés de decisió, fent èmfasi en la influència dels ingressos que s'espera obtenir de la venda d'electricitat i l'abastiment d'energia tèrmica en forma de calefacció i ACS.

En aquest apartat s'aplica la part teòrica exposada fins ara per tal de solucionar el problema plantejat.

L'objectiu d'aquest projecte és donar sortida a la biomassa residual desaprofitada, i aquest objectiu es vol complir mitjançant la cogeneració amb biomassa. Per tal de saber si aquesta opció és viable es faran comparacions entre diferents sistemes de generació d'energia per concloure la viabilitat de la cogeneració amb biomassa.

Els sistemes escollits per a la comparació són d'una banda la cogeneració amb gas natural, ja que és un procés altament eficient i que permet un aprofitament màxim d'aquest gas, d'aquesta manera, tot i que s'empra un combustible d'origen fòssil, es tracta d'un de molt energètic.

També es tindrà en compte el sistema convencional de generació d'ACS i calefacció, i per últim i objecte de la màxima rellevància, la generació d'energia a partir de biomassa.

6.1 Cogeneració amb gas natural

6.1.1 Estudi tècnic

La instal·lació de cogeneració amb gas consta bàsicament d'un motor alternatiu de combustió interna (motogenerador) que funciona amb gas natural, que acciona l'eix d'un alternador que produeix electricitat. La calor residual del motor, ja sigui en forma de calor sensible en els gasos d'escapament com en l'aigua calenta dels circuits de refrigeració d'alta i baixa temperatura, és la que s'aprofita com a clor útil. En el nostre cas l'energia tèrmica útil és la quantitat de calor que es transfereix al sistema de distribució de calefacció i ACS. Els balanços energètics es mostren a la taula 34.

El REE és un factor determinant de cara al dimensionat de la potència elèctrica de la instal·lació de cogeneració en base a l'energia tèrmica útil que s'aprofita.

$REE = \frac{E}{\left[C - \left(\frac{Q}{\mathrm{Re}\, f \quad \mathrm{H}}\right)\right]}$ que aplicat al cas d'estudi resulta ser de:

$$REE = \frac{39.420.000 kWhe/any}{\left[92.752.941 kWht(i)/any - \left(\frac{23.312.098 kWht}{0{,}9}\right)\right]} = 0{,}559 \rightarrow 55{,}9\%$$

El paràmetre que es defineix en aquest cas és l'energia tèrmica útil (*Q*), que és la quantitat de calor que transferim al sistema de distribució de calefacció i ACS, i que equival a 23.312.098kWh tèrmics mesurats com a poder calorífic inferior.

Referent a l'electricitat generada (*E*), aquesta depèn del rendiment elèctric del motor generador que es xifra en el 42,5% per un combustible com el gas natural. Aquest rendiment és el quocient entre l'electricitat produïda i el combustible o energia tèrmica emprada (*C*). Actualment existeixen motors que poden sobrepassar aquest valor que situaríem al llindar inferior.

Finalment, cal fixar la disponibilitat mínima del 90%, és a dir 7.884 hores/any. La resta de les hores fins arribar a 8.760h que completen una anualitat, hauran de ser complementades per un sistema auxiliar d'energia tèrmica ja que el consum d'ACS és un sistema que ha de ser disponible el 100% de les hores. Així que la caldera auxiliar ha de suportar les parades previstes de la cogeneració i les puntes de consum que no es puguin cobrir amb l'aprofitament tèrmic conjunt dels gasos d'escapament i de l'aigua de refrigeració del motor. S'estima l'aportació anual de la caldera auxiliar en 3.692.128kWht anuals.

La solució proposada en aquest projecte consta d'un sistema de cogeneració amb un o diversos motogeneradors que puguin produir conjuntament una potència de 5.000kWe mantenint un REE del 55,9%, tal i com mostra el diagrama del balanç d'energia de la taula 37. Aquest REE s'aconsegueix aprofitant els gasos d'escapament del motor i l'aigua de refrigeració com a calors útils del sistema.

L'intercanviador aigua de refrigeració del motor – aigua calenta, es situaria com una primera etapa de preescalfament de l'aigua per acabar aconseguint la temperatura d'impulsió del sistema amb l'intercanviador dels gasos d'escapament – aigua calenta.

A continuació s'ha elaborat un esquema del funcionament d'aquest tipus de planta.

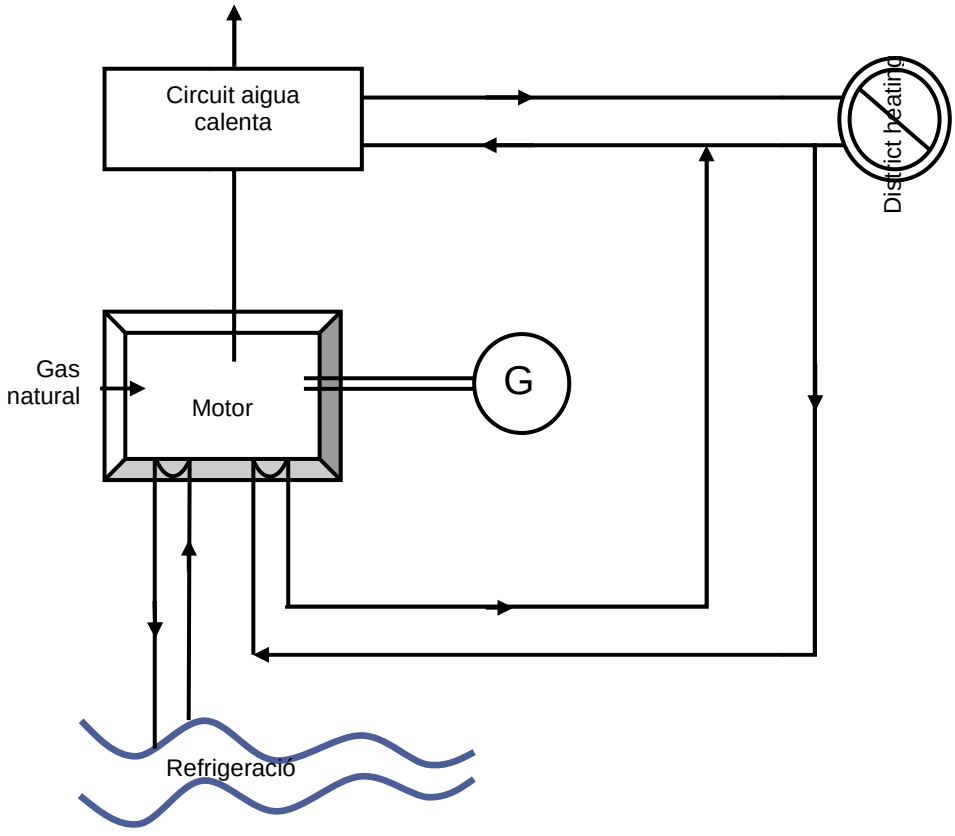


Figura 18. Esquema planta de cogeneració amb gas natural [Font: Elaboració pròpia]

Factor disponibilitat cogeneració	90%	Equivalència	859,85kcal/kWh	Rendiment elèctric	42,5%
Hores funcionament cogeneració	7.884h/any	Rendiment elèctric equivalent	55,9%	Rendiment energètic global	65,0%
Hores disponibilitat ACS i calefacció	8.760h/any				

CENTRAL DE GENERACIÓ D'ENERGIA

Venta d'excedents elèctrics	
Energia venuda (kWhe/any)	37.449.000
Potència elèctrica (kWe)	4.750

Energia consumida Gas Natural	
Energia autoconsumida (kWht(i)/any)	92.752.941
Potència tèrmica (kWt)	11.765

Cremador auxiliar de Gas Natural	
Energia autoconsumida (kWht/any)	3.692.128
Potència tèrmica (kWt)	4.899

Generació elèctrica	
Energia produida (kWhe/any)	39.420.000
Disponibilitat (h/any)	7.884
Potència elèctrica (kWe)	5.000

Motogeneradors	
Rendiment elèctric	42,5%

Gasos d'escapament de motors	
Temperatura de sortida gasos (ºC)	415
Potència tèrmica (kWt)	4.169

Gasos atmosfera	
Temperatura de sortida gasos (ºC)	140
Cabal gasos (kg/h)	28.600
Potència tèrmica (kWt)	1.211
Potència tèrmica (kWt/any)	9.547.524

Autoconsums cogeneració i distribució	
Energia total consumida (kWhe/any)	2.190.000
Hores consum de xarxa	876
Energia autoconsumida (kWhe/any)	1.971.000
Disponibilitat (h/any)	7.884
Potència elèctrica (kWe)	250

Aigua refrigeració baixa temperatura	
Potència tèrmica (kWt)	1.200
Potència tèrmica (kWt/any)	9.460.800
Temperatura input (ºC)	54
Temperatura retorn (ºC)	45

Aigua refrigeració alta motors	
Potència tèrmica (kWt)	1.395
Potència tèrmica (kWt/any)	10.998.180
Temperatura input (ºC)	90
Temperatura retorn (ºC)	80

SISTEMA DE DISTRIBUCIO D'AIGUA CALENTA

Pèrdues
1.200kWt

Intercanviador aigua/aigua	
Pèrdues (%)	10%
Pèrdues (kWe)	140

Caldera recuperació gasos/aigua	
Pèrdues (%)	10%
Pèrdues (kW)	417

Circuit de distribució d'aigua calenta a la zona urbanitzada	
Cabal (m^3/h)	200
Potència mitja (kWt)	3.447,8
Potència màxima de mitjana (kWt)	6.839,7
Energia consumida anualment (kWht)	23.312.098

CONSUM DE CALEFACCIÓ A CONSUMIDORS FINALS

Pèrdues de la distribució
20%
4.662.420 kWht

Circuit de distribució d'aigua calenta a la zona urbanitzada	
Cabal (m3/h)	200
Potència mitja (kWt)	2.758,3
Potència màxima possible (kWt)	5.471,8
Energia consumida anualment (kWht/any)	18.649.679

Taula 34. Balanç energètic de la cogeneració amb motor de gas natural [Font: ICAEN]

6.1.2 Estudi econòmic

El sistema exposat es basa des del punt de vista econòmic de la venda dels excedents de producció elèctrica i de la facturació pels consums de calefacció i ACS.

Amb aquests ingressos, l'empresa promotora i exportadora podrà recuperar la inversió efectuada en la central i assumir els costos d'operació, manteniment i servei a cadascun dels clients del sistema. S'ha exclòs de la inversió la part de la xarxa de distribució des de vàlvules de sortida de la central fins als intercanviadors d'entrada a cadascuna de les vivendes.

6.1.2.1 Inversió

S'ha avaluat una inversió en la central i serveis auxiliars de 4.019.500€ que inclou els següents elements:

1. Motogenerador/s de gas natural amb rendiment superior al 42,5% per una potència elèctrica total de 5.000kWe
2. Intercanviador de gasos d'escapament/aigua calenta i intercanviador d'aigua de refrigeració del motor/aigua calenta
3. Caldera auxiliar de gas natural per produir aigua calenta amb una potència de 4.899kWt
4. Centre de bombeig fins a tanc acumulador. No s'inclouen els centres de bombeig secundaris en funció de la distribució de vivendes
5. Instal·lacions

Aquest pressupost és una estimació amb els corresponents marges de seguretat i sense detallar cap tecnologia o marca concreta. Cal tenir en compte que la partida del sistema d'interconnexió amb la companyia elèctrica en mitja tensió depèn de factors com la proximitat a subestacions o línies elèctriques disponibles. Es considera una partida alçada de 300.000€ per a l'escomesa i permisos, entre d'altres.

6.1.2.2 Ingressos del servei

La instal·lació de cogeneració es preveu que produeixi 39.240.000kWhe/any. Tanmateix, els sistemes de bombeig de distribució d'aigua calenta així com els propis sistemes de refrigeració i altres elements de la cogeneració autoconsumiran 1.971.000kWhe/any. Per tant, els excedents elèctrics que es vendran a la xarxa elèctrica seran de 37.449.000kWhe/any.

Aquesta energia elèctrica es contempla dins les produccions del Règim Especial de productors, en la categoria de les cogeneracions menors de 1MW, a les quals s'incentiva a anar al mercat lliure d'electricitat (preu final promig 2003 és de 0.03553 €/kWhe), afegint-hi una prima del 30% de la Tarifa Mitja de Referència (TMR) i un 10% de la TMR d'incentiu els 10 primers anys. Amb això, cal afegir els costos de desviaments respecte les prediccions de producció diàries que cal fer i el cost de gestió al mercat. El preu final s'estima en 0,06385€/kWh. La facturació anual del primer any d'operacions s'estima en 2.424.814€/any.

El servei de calefacció i ACS estarà disponible en continu, les 24 hores del dia, tots els dies de l'any. La central serà dissenyada per subministrar energia tèrmica en tot moment. Aquesta continuïtat es donarà gràcies a la instal·lació d'una caldera auxiliar per parades de la cogeneració i un sistema d'acumulació de calor que permetrà mantenir el servei durant aturades curtes de la central i dotarà d'una inèrcia tèrmica.

La gestió del servei de calefacció i ACS a 1.219 habitatges, haurà d'incloure el subministrament tèrmic ininterromput, manteniment de les instal·lacions, la corresponent mesura i facturació mensual del consum i l'atenció als usuaris.

El consum previst per habitatge és de 15.299kWh(i)/any. Amb els preus domèstics disponibles de gas natural, 0,0590394€/kWh(s), aquest consum representa una facturació de 904€/habitatge.

6.1.2.3 Costos operacionals

A l'anàlisi dels costos d'explotació i manteniment del servei de generació i distribució de calefacció i ACS es detallen els següents apartats:

1. Consum de gas natural. Correspon a 92.752.941kWht(i)/any a un preu de tarifa industrial pels motogeneradors i un consum molt menor per la caldera auxiliar.
2. Cost de manteniment integral dels motogeneradors per cada kWhe produït.
3. Consums energètics del bombeig. Aquest cost queda pràcticament anul·lat ja que els autoconsums elèctrics els subministra la cogeneració.
4. Cost de manteniment preventiu i correctiu dels diferents equips de la instal·lació excepte motors.
5. Cost d'operació del servei que inclou:
   5.1. Personal d'operació i manteniment. Inclou 8 persones (5 operaris (1 per torn), 1 administratiu i 1 cap de planta especialista)
   5.2. Tractament fisicoquímic de l'aigua calenta
   5.3. Costos generals com assegurances de responsabilitat civil, taxes municipals i impostos, i despeses d'oficina
6. Amortització de la inversió de la central de cogeneració i subministrament energètic.

6.2 Cogeneració amb biomassa

6.2.1 Estudi tècnic

La instal·lació escollida de cogeneració amb biomassa, es realitza segons el principi termodinàmic del Cicle Orgànic de Rankine (ORC) de la planta Turboden.

El cicle orgànic de Rankine, es basa:

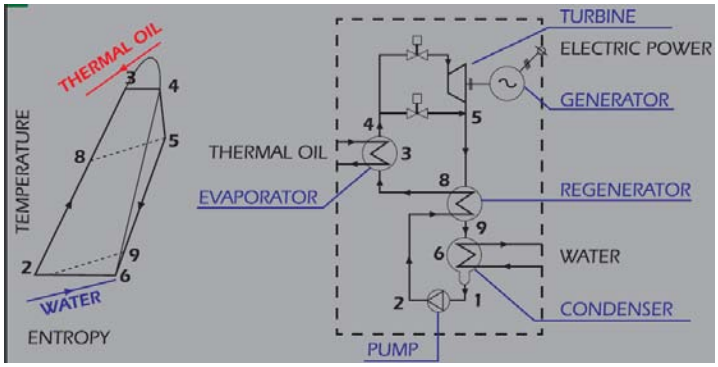


Figura 19. Esquema funcionament Turboden ORC [Font: Turboden]

El turbogenerador utilitza l'elevada temperatura de l'oli tèrmic per preescalfar i evaporar el fluid orgànic a l'evaporador (3→4). Aquest vapor del fluid orgànic s'expansiona a la turbina (4→5), que es troba directament acoblada al generador elèctric mitjançant un acoblador elàstic.

El vapor ja utilitzat flueix a través del regenerador (5→8→9) on s'escalfa el fluid orgànic que entrarà a l'evaporador. Posteriorment, el vapor és condensat al condensador, on és refredat mitjançant un flux d'aigua (9→6→1). Finalment, el fluid orgànic líquid és bombejat (1→2) al regenerador i tot seguit a l'evaporador, així es completa la seqüència d'operacions al circuit tancat de què consta el cicle.

Les plantes de cogeneració Turboden ORC, produeixen energia tèrmica i elèctrica a partir de biomassa amb una alta eficiència i de fàcil operativitat. El sistema Turboden split permet la maximització de la producció d'energia elèctrica per a un consum de biomassa determinada, gràcies a una explotació més eficient de l'energia tèrmica de la caldera.

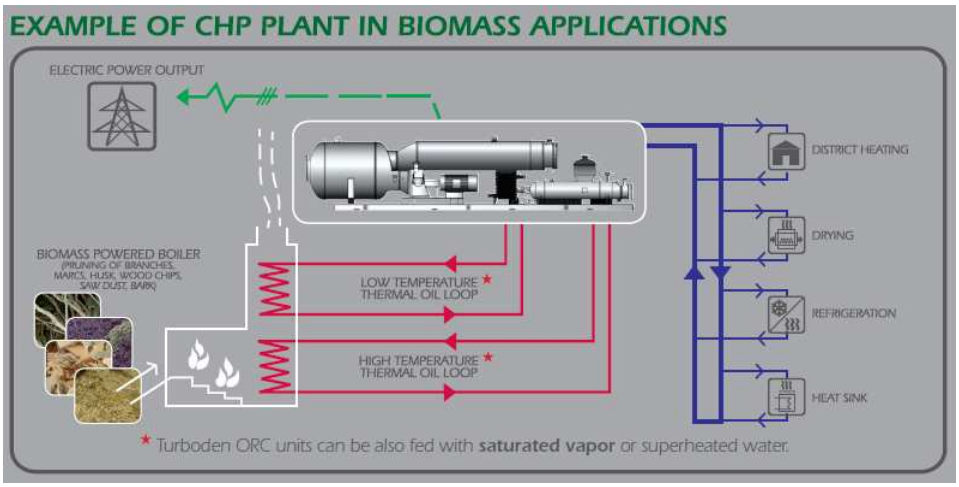


Figura 20.Exemple de planta CHP de biomassa per diferents aplicacions [Font: Turboden]

El Turboden ORC es pot aplicar en xarxes de *District Heating*, assecat a diferents fàbriques, preescalfament d'aire a industries, hivernacles, piscines, plantes termals i refrigeració.

Els combustibles que poden ser utilitzats són:

- Biomassa de fusta: serradures, virostes, fusta tractada.
- Altra biomassa: fangs, palla, retalls de biomassa verda, pellofa d'arròs, etc.
- Residus.

6.2.1.1 Descripció de la planta

La planta de cogeneració de biomassa Turboden 14 CHP (Combined Heat & Power) split, està formada per la *caldera*, el *bloc hidràulic* i el *bloc de l'ORC*.

S'ha exclòs de la inversió la part de la xarxa de distribució des de vàlvules de sortides de la central fins als intercanviadors d'entrada a cadascuna de les vivendes.

Igual que a la cogeneració amb gas natural, es té en compte que la disponibilitat d'hores mínimes de la planta de cogeneració amb biomassa a l'any és d'un 90%, és a dir 7.884hores/any. I la resta hauran de ser complementades per un sistema auxiliar d'energia tèrmica, així s'inclou una caldera auxiliar que ha de suportar les parades previstes de la cogeneració i les puntes de consum. Els balanços energètics es mostren a la taula 35.

El REE de la instal·lació de cogeneració és d'un 43,63%. El REE mínim exigit per cogeneracions amb biomassa tipus b.6 i b.8 és del 30%, així es supera el mínim exigit.

$$REE = \frac{E}{\left[C - \left(\frac{Q}{\text{Re}\ f \quad \text{H}}\right)\right]}$$ que aplicat al cas d'estudi resulta ser de:

$$REE_i = \frac{10.383.228 kWhe/any}{\left[52.941.060 kWht(i)/any - \left(\frac{23.312.098 Wht}{0{,}8}\right)\right]} = 0{,}4363 \rightarrow 43{,}63\%$$

On:

L'energia tèrmica útil (*Q*), és la quantitat de calor que es transfereix al sistema de distribució de calefacció i ACS, i que equival a 23.312.098kWh tèrmics mesurats com a poder calorífic inferior.

L'electricitat generada (*E*), depèn del rendiment elèctric que es xifra en el 19,6%. Aquest rendiment és el quocient entre l'electricitat produïda i el combustible o energia tèrmica emprada (*C*).

Turboden 14 CHP split

Característiques de la caldera:

- Potència elèctrica obtinguda: 1.255kw
- Potència tèrmica obtinguda: 5.350kw (aigua 80/60ºC)
- Caldera d'oli necessària: 6.130kw (5.271.800kcal/h)

- Temperatura d'oli d'alta: 310/250ºC
- Recuperador de gasos/oli (Split): 585kw
- Temperatura d'oli de baixa: 250/130ºC

Parts de la caldera:

1- Xemeneia evacuació gasos
2- Ventilador extracció gasos
3 -Depurador de fums
4- Economitzador d'oli
5- Recuperador gasos /oli baixa temperatura
6- Caldera oli tèrmic alta temperatura
7- Forn de combustió
8- Sil emmagatzematge combustible
9- Cinta transportadora
10.- Conducte pont

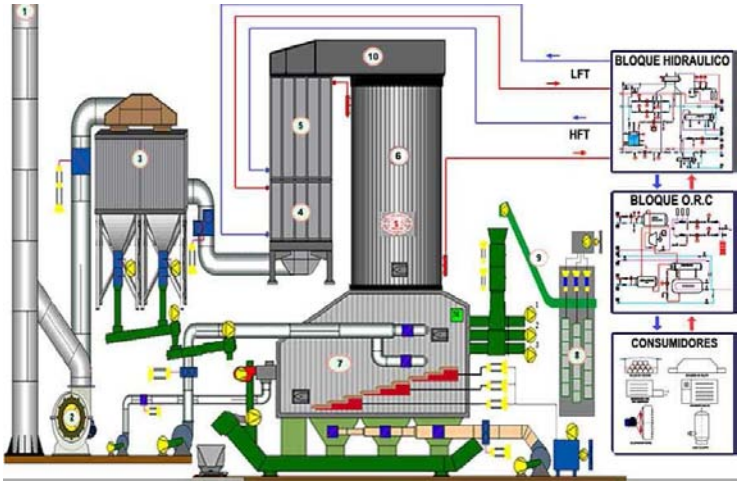


Figura 21. Caldera de cogeneració ORC [Font: Sugimat]

Altres parts de la caldera:

- Cambra de combustió de graelles mòbils i descorificació automàtica
- Quadre elèctric
- Depurador multiciclònic
- Economitzador gasos/aire
- Dàmpers

Diagrama del cicle ORC de Turboden 14 CHP split

Aquest diagrama mostra d'una manera simplificada el funcionament dels diferents blocs de la planta projecte d'estudi.

Es poden diferenciar quatre blocs bàsics, el primer és el circuit d'oli tèrmic d'alta temperatura (vermell), que rep la calor directament de la caldera, i que cedeix calor al procés ORC (verd) a través de l'evaporador.

En aquest procés és on té lloc la generació elèctrica a partir de la turbina, tot i que es dóna l'opció de desviar el fluid a través del bypass quan sigui necessari. Aquest procés també està en contacte amb el circuit d'oli tèrmic de baixa temperatura (groc) a través del preescalfador, cedint calor.

A continuació es posen en contacte aquest procés ORC amb el circuit d'aigua calenta (blau), que intercanvien calor a través del condensador, i aquest circuit també es troba en contacte amb els bescanviadors d'alta i baixa temperatura, que juntament amb els gasos d'escapament de la caldera cedeixen calor per al *district heating*.

Una altra part de la planta són els economitzadors, el primer permet dur a terme el preescalfament de l'aire de combustió mitjançant els gasos d'escapament que surten dels recuperadors amb direcció al segon economitzador, per tal d'aprofitar al màxim la calor transportada.

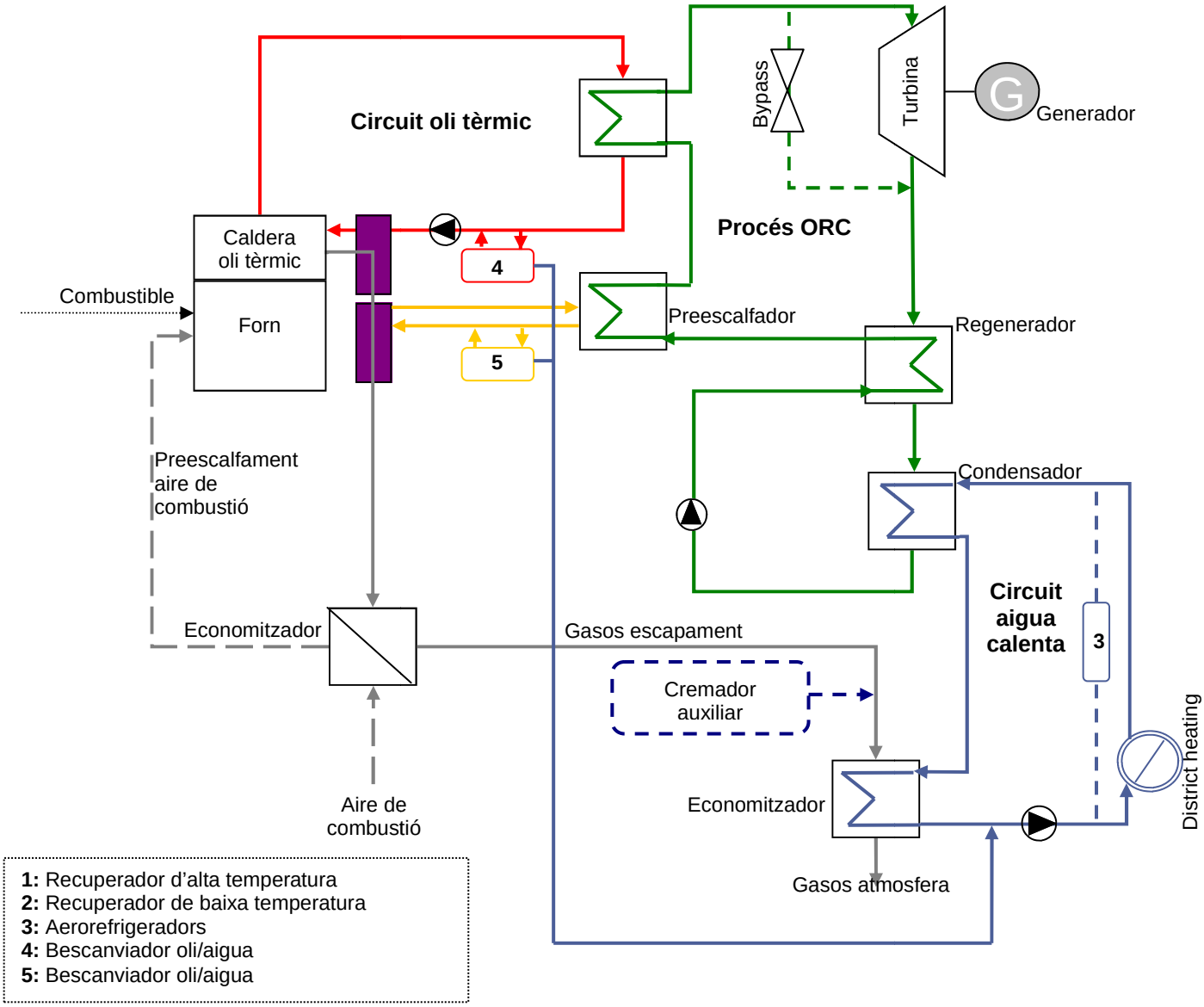


Figura 22. Diagrama del cicle ORC [Font: Elaboració pròpia]

Caldera auxiliar de gas natural.

La caldera auxiliar és pirotubular per la producció d'aigua calenta amb temperatures d'impulsió admeses fins 110ºC.

Potència tèrmica útil és de 4.200kW.

6.2.2 Avantatges del bloc ORC Turboden 14 CHP

- Alt rendiment de la turbina
- No requereix d'operador amb llicència
- Baixa tensió mecànica de la turbina, a causa de la baixa velocitat perifèrica
- Baixes revolucions per minut de la turbina que permet la transmissió directa del generador elèctric sense reductor
- No erosió de les pales, a causa de l'absència d'humitat en el vapor de les broquetes
- Alt rendiment del cicle
- Llarga vida
- Procediment senzill d'engegar i aturar
- Operació silenciosa
- Mínim requeriment de manteniment, el temps necessari per operar la planta *Turboden 14 split* és de 3 a 5 hores
- Bones actuacions a càrrega parcial (les plantes poden operar amb facilitat fins al 10% de la càrrega nominal)

A continuació es presenta la taula resum dels balanços energètics de la planta de cogeneració amb biomassa residual:

Factor disponibilitat cogeneració 90%
Hores funcionament cogeneració 7.884h/any
Hores disponibilitat ACS i calefacció 8.760h/any

Equivalència 859,85kcal/kWh
Rendiment energètic global 63,65%

Rendiment elèctric equivalent 43,63%
Rendiment elèctric 19,6%

CENTRAL DE GENERACIÓ D'ENERGIA

Venta d'excedents elèctrics	
Energia venuda (kWhe/any)	9.894.420
Potència elèctrica (kWe)	1.255

Energia consumida caldera de biomassa	
Biomassa consumida (kg/h)	2.935
Biomassa consumida (T/any)	23.139,54
Energia autoconsumida (kWht(i)/any)	52.941.060
Potència tèrmica (kWt)	6.715

Cremador auxiliar de Gas Natural	
Energia autoconsumida (kWht)	3.692.128

Economitzador gasos / aire	
Temperatura entrada gasos (ºC)	285
Temperatura sortida gasos (ºC)	180
Temperatura entrada aire (ºC)	20
Temperatura sortida aire (ºC)	165
Potència tèrmica recuperada (kWt)	719

Sortida gasos	
Temperatura sortida gasos (ºC)	180
Potència tèrmica (kWt)	270

Generació elèctrica	
Energia produida (kWhe/any)	10.383.228
Disponibilitat (h/any)	7.884
Potència elèctrica (kWe)	1.317

Turbina	
Rendiment elèctric (%)	19.6%

Gasos atmosfera	
Temperatura sortida gasos (ºC)	140
Potència tèrmica (kWt)	48

Autoconsums cogeneració i distribució	
Energia total consumida (kWhe/any)	543.120
Hores consum de xarxa	876
Energia autoconsumida (kWhe/any)	488.808
Disponibilitat (h/any)	7.884
Potència elèctrica (kWe)	62

Condensador oli / aigua	
Diferència temperatura (ºC)	20
Cabal (m^3/h)	120
Potència tèrmica (kWt)	5.350
Temperatura input aigua(ºC)	80
Temperatura retorn aigua(ºC)	60

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓ D'AIGUA CALENTA

Intercanviador aigua/aigua	
Pèrdues (%)	10%
Pèrdues (kWt)	535

Economitzador gasos/aigua	
Pèrdues (%)	10%
Pèrdues (kw)	5

Circuit de distribució d'aigua calenta a la zona urbanitzada	
Cabal (m3/h)	200
Potència mitja (kWt)	3.447,8
Potència màxima de mitjana kWt	6.839,7
Energia consumida anualment (kWht)	23.312.098

Pèrdues de la distribució
20%
4.662.420kWht

CONSUM DE CALEFACCIÓ A CONSUMIDORS FINALS

Circuit de distribució d'aigua calenta a la zona urbanitzada	
Cabal (m3/h)	200
Potència mitja (kWt)	2.758,3
Potència màxima possible kWt	5.471,8
Energia consumida anualment (kWht)	18.649.679

Taula 35. Balanç energètic de cogeneració amb ORC i biomassa [Font: Elaboració pròpia]

6.2.3 Estudi econòmic

El sistema com la cogeneració amb gas, esta basat des del punt de vista econòmic en la venda dels excedents de producció elèctrica i de la facturació pels consums de calefacció i ACS.

Amb aquests ingressos, l'empresa promotora i exportadors podrà recuperar la inversió efectuada en la central i assumir els costos d'operació, manteniment i servei a cadascun dels clients del sistema. S'ha exclòs de la inversió la part de la xarxa de distribució des de vàlvules de sortida de la central fins als intercanviadors d'entrada a cadascuna de les vivendes.

6.2.3.1 Inversió

S'ha avaluat la inversió d'una planta de cogeneració amb biomassa i d'una caldera auxiliar.

Caldera:

Caldera d'oli de 5.271.800 Kcal/h (6.130 KW)

Cambra de combustió de graelles mòbils i descorificació automàtica

Recuperador gasos / oli de baixa de 585 KW

Quadre elèctric

Ventiladors

Xemeneia i conductes

Instrumentació

Documentació tècnica depurador multiciclònic

Economitzador gasos / aire

Dàmpers

Muntatge i posada en marxa

Import caldera:	1.242.310€

Partides opcionals que s'inclouen:

Canonades i vàlvules d'oli d'alta temperatura	12.054€
Bomba amb vàlvules d'oli d'alta temperatura	21.132€
Bomba reserva (alta) amb les seves vàlvules	22.425€
Canonades i vàlvules d'oli de baixa temperatura	4.215€
Bomba amb vàlvules d'oli de baixa temperatura	4.453€
Bomba reserva (baixa) amb les seves vàlvules	.4.845€
Dipòsits centrals i d'expansió	29.934€
Extractor de sil i cinta metàl·lica de transport	117.238€

Grup de refredament d'emergència	37.218€
Estructures suport i plaques d'ancoratge	. 56.737€
Intercanviador oli alta/aigua amb regulació	58.126€
Instal·lació de canonades i regulació d'oli de baixa fins ORC	28.467€
Instal·lació de canonades i regulació oli de baixa fins ORC	8.545€
Transport i grues	6.000€
Instal·lació elèctrica i pneumàtica	200.000€
Oli tèrmic	25.000€
Paletes i obra civil	288.000
Escales, baranes i plataformes	15.000€
Dissipador de calor	72.000€
Instal·lació d'aigua amb els accessoris	30.000€
Bloc ORC	1.440.000€
Caldera auxiliar de gas natural	54.690€
Total	3.810.357€

6.2.3.2 Ingressos del servei

Venda electricitat

La instal·lació de cogeneració amb biomassa es preveu que produeixi 10.383.228kWhe/any, tanmateix, els sistemes de bombeig de la distribució d'aigua calenta, i els propis sistemes de refrigeració i altres elements consumeixen 488.808kWhe/any. Així l'electricitat neta produïda és de 9.894.420kWhe/any. Aquesta electricitat neta no es consumeix als habitatges si no que es ven directament a la xarxa de distribució elèctrica principal.

Aquesta energia elèctrica es contempla al *RD 661/2007* a l'epígraf a.1.3 de les tarifes, i la retribució per l'electricitat varia en funció de la potència elèctrica de la planta (menor o major de 2MW) i del combustible utilitzat.

Per la retribució de venda d'electricitat es pot elegir una de les següents opcions:

- Tarifa regulada única, que ve donada per la tarifa base (Ptr) a la que s'aplica una sèrie de complements.
- Mercat d'energia elèctrica, el preu va seguint el preu de l'electricitat hora a hora. No es tria aquesta opció pel sobrecost de gestió i el risc del mercat.

Així per saber els ingressos de la venda d'electricitat, s'utilitza la retribució en tarifa regulada única (PFT)[13] que és de 1.178.611,07€/any. Aquesta retribució s'aplica durant els primers 15 anys, a partir d'aquest període la tarifa regulada canvia.

[13] Càlculs de la tarifa regulada única a l'annex 0

Venda energia tèrmica

El consum previst per habitatge és de 15.299kWh(i)/any. Amb els preus domèstics disponibles de gas natural, 0,059094€/kWh(s), aquest consum representa una facturació de 904 €/habitatge, és a dir per tots els habitatges un total de 1.102.072€/any.

6.2.3.3 Costos operacionals

- Consum de residus de fusta i poda

Pel càlcul del cost de l'estella de residus de fusta i poda, s'assumeix:

Baix poder calorífic de l'estella: 2,6kWh/kg (proposat per Turboden)

Hores funcionament caldera (90% hores de l'any): 7884h

Preu estella de residus de fusta i poda de 60€/T

$$2.935\frac{kg}{h} * \frac{7.884h}{1any} * \frac{1T}{1.000kg} * \frac{60€}{1T} = 1.388{,}372€ / any$$

El cost de l'estella de residus de fusta i poda és de 1.388,372€/any

- Consum de gas natural de la caldera auxiliar

S'assumeix el valor de 62.000€/any del projecte de cogeneració amb gas.

- Cost manteniment planta

Hi ha uns costos fixes de 121.443€/any.

- Costos operatius

Malgrat que Turboden recomana que el temps necessari per operar la planta és de 3 a 5 hores per setmana, al ser un *district heating*, s'inclou una atenció diària.

Els costos operatius són de 200.000€/any, en els quals s'engloba:

- Personal d'operació i manteniment. Inclou 6 persones (4 operaris tècnics, 2 peons).
- Costos generals com assegurances de responsabilitat civil, taxes municipals i impostos, i despeses d'oficina.

7 ANÀLISI DE VIABILITAT ECONÒMICA DE LES ALTERNATIVES

7.1 Comparació dels costos dels sistemes

A continuació es mostren les diferències econòmiques dels diferents sistemes de producció d'electricitat i energia tèrmica.

Costos operacionals anualment					
		Gas convencional	Cogeneració amb gas	Cogeneració estella forestal	Cogeneració estella residus
Ingressos	milers € / any		3.701	2.697	2.273
Venta electricitat	milers € / any	0	2599	1595	1171
Venta energia tèrmica	milers € / any	0	1102	1102	1102
Costos					
Costos variables					
Gas natural cogeneració	milers € / any	0	1954	0	0
Estella forestal	milers € / any	0	0	1967	0
Estella residus fusta i poda	milers € / any	0	0	0	1388
Gas natural per caldera domèstica	milers € / any	1102	0	0	0
Gas natural per caldera auxiliar	milers € / any	0	62	62	62
Manteniment motogeneradors	milers € / any	0	320	0	0
Manteniment de caldera auxiliar	milers € / any	0	5	5	5
Costos fixes					
Cost manteniment planta	milers € / any	0	121	101	101
Costos operatius	milers € / any	0	331	200	200
Total costos	milers € / any	1102	2793	2335	1757
Beneficis=Ingressos-Costos	milers € / any		908	362	516
Inversió	milers € / any		4020	3810	3810

Taula 36. Comparació econòmica dels diferents sistemes energètics [Font: Elaboració pròpia]

S'observa que els ingressos obtinguts de la venda d'electricitat procedent de la cogeneració amb gas natural, són més elevats que la cogeneració amb biomassa, degut a què el rendiment elèctric és 3,8 vegades superior.

Els ingressos dels sistemes amb cogeneració referents a l'energia tèrmica, són els mateixos que els costos que tenen les vivendes amb gas convencional, per tant, el preu pel consumidor és el mateix en els dos sistemes.

Per la inversió dels sistemes s'ha assumit que el cost de la instal·lació de la caldera i canonades del gas convencional és equivalent a l'import del bescanviador aigua/aigua i canonades del *district heating* de cadascuna de les vivendes. Per tant, s'ha considerat un valor de zero, encara que es coneix que el valor del bescanviador és inferior al de la caldera.

La inversió de la planta de cogeneració amb biomassa és un 5% més econòmica que la cogeneració amb gas. Aquesta diferència no es considera rellevant .

En els sistemes de cogeneració s'ha estudiat per dos tipus diferents de biomassa, la residual i la forestal. Amb el combustible d'estella forestal els beneficis per la venda d'energia són superiors ja que la prima és superior, però el cost de l'estella és més elevat, fet que comporta que els beneficis siguin inferiors als de l'estella residual.

Finalment, els beneficis més importants s'obtenen amb la cogeneració amb gas natural, seguida de la cogeneració amb estella residual.

L'estudi està limitat als sistemes de producció de l'energia. No s'inclouen les xarxes de distribució ni mesures en els comptadors, que són de l'ordre d'un 40% addicional de sobrecost en la facturació en el consumidor, ni l'avantatge per aquest de no necessitar calderes individuals.

7.2 Anàlisi financera de la cogeneració amb biomassa

Compte d'explotació i anàlisi financera de la Cogeneració amb Biomassa Residual

Cogeneració estella residual	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
(milers € / any)																
Ingressos		2274	2361	2446	2538	2633	2731	2834	2940	3050	3164	3283	3406	3534	3666	3804
Venta electricitat		1171	1215	1254	1298	1344	1391	1439	1490	1542	1596	1652	1709	1769	1831	1895
Venta energia tèrmica calefacció		1102	1146	1192	1240	1289	1341	1394	1450	1508	1569	1631	1697	1764	1835	1908
Costos		1757	1827	1900	1976	2055	2137	2223	2312	2404	2500	2601	2705	2813	2925	3042
Costos variables																
Gas natural cogeneració		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estella forestal		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estella residus fusta i poda		1388	1444	1502	1562	1624	1689	1757	1827	1900	1976	2055	2137	2223	2312	2404
Gas natural per caldera domèstica		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas natural per caldera auxiliar		62	64	67	70	73	75	78	82	85	88	92	95	99	103	107
Manteniment motogeneradors		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Manteniment de caldera auxiliar		5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	9
Costos fixes																
Cost manteniment planta		101	106	110	114	119	123	128	133	139	144	150	156	162	169	176
Costos operatius		200	208	216	225	234	243	253	263	274	285	296	308	320	333	346
Beneficis = Ingressos-Costos		517	534	546	562	578	594	611	628	646	664	682	701	721	741	761
Inversió	3810															
Amortització en 15 anys		254	254	254	254	254	254	254	254	254	254	254	254	254	254	254
Benefici abans impostos		263	280	292	308	324	340	357	374	392	410	428	447	467	487	507
Impost de societats: 35%		92	98	102	108	113	119	125	131	137	143	150	157	163	170	178
Interés del diner = 4%																
Benefici després impostos		171	182	190	200	210	221	232	243	255	266	278	291	304	317	330
Cash flow		425	436	444	454	464	475	486	497	509	520	532	545	558	571	584

Taula 37. Compte d'explotació de la planta de cogeneració amb biomassa [Font: Elaboració pròpia]

L'anàlisi financera de la planta de cogeneració amb biomassa residual s'ha avaluat per 15 anys, ja que la retribució de la venda de l'electricitat canvia després d'aquest període. Tot i que el temps de vida per aquest tipus de planta és com a mínim de 20 anys. S'ha considerat un interès del diner d'un 4%.

El període de retorn de la inversió[14] de la planta és de 9 anys i la taxa interna de rendibilitat del 9.5%. Aquestes dues dades demostren que aquest projecte no és atractiu per als possibles promotors, degut a que els beneficis d'aquesta planta es donarien a llarg termini.

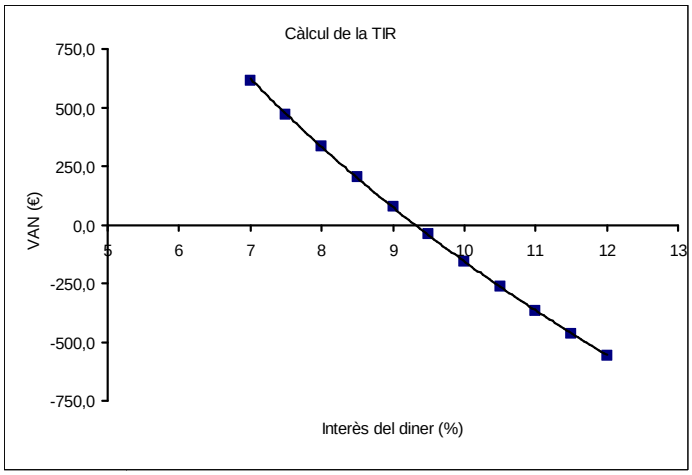


Figura 23. Gràfic de la taxa interna de rendibilitat (TIR) [Font: Elaboració pròpia]

El preu del petroli va pujar fins a 150$/barril enfront dels 75$/barril actuals. Per tant, s'ha de suposar que el preu tornarà a incrementar-se com en el passat, afectant així a tots els combustibles fòssils. Per aquest motiu s'ha analitzat aquesta futura situació augmentant el preu del gas natural en un 10% els primers 5 anys, i els 10 anys següents amb un interès del diner del 4%.

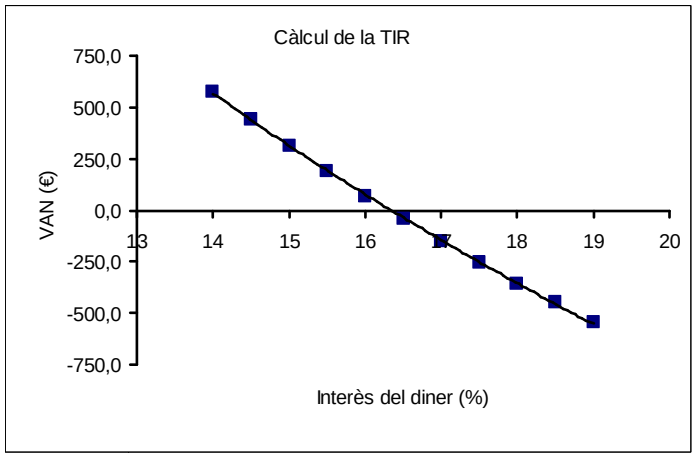


Figura 24. Gràfic del TIR incrementant el preu del Gas [Font: Elaboració pròpia]

En aquesta situació la rendibilitat de la planta cogeneració amb biomassa s'incrementa considerablement, fins un 16.5%. Si en el futur es dóna aquesta hipòtesi el mercat de les energies renovables canviarà significativament i els promotors optaran per aquest tipus d'alternatives.

[14] El càlcul es troba a l'annex 3.

8 CONCLUSIONS

La urbanització que es construeix a Domeny, pretén ser un referent a la sostenibilitat a nivell gironí. Per tal d'aconseguir un bon resultat a nivell urbanístic, es duen a terme estudis i projectes que permetran assolir un aprofitament màxim dels recursos naturals de què disposa la zona, tals com l'orientació dels habitatges que permetrà reduir el consum de llum i calefacció, que juntament amb un bon sistema d'aïllaments permeten un descens del consum d'aquest tipus d'energia i un augment de la confortabilitat.

Com a resultat de l'aplicació de sistemes i elements constructius que permeten augmentar l'eficiència energètica, i per tant, provocar un descens d'aquest consum s'obté un resultat que sosté la teoria de que amb un esforç al principi del procés, com pot ser la inversió inicial en un projecte d'aquests característiques, s'obtenen uns resultats que afavoreixen tant el medi ambient com a la societat, tant a curt com a llarg termini.

Aquest projecte de viabilitat pretén complementar el planejament urbanístic amb un sistema alternatiu de calefacció amb energia renovables. També és el resultat de la voluntat d'aprofitar un residu que es genera, inevitablement, en la societat en la que vivim.

Després de posar-nos en contacte amb gestors de residus, es va poder observar que els residus de biomassa de fusta i poda, comencen a tenir dificultats alhora de ser gestionats, fet que és degut a la saturació dels mercats d'aquests productes i a l'increment de la seva generació. Fins ara el destí d'aquest residus es fan servir per a la fabricació d'aglomerat, i els que solen ser més humits, com la poda, s'envien a plantes de compostatge. Actualment, s'ha d'assolir el fet que la biomassa és una energia renovable que pot ser aprofitada amb tecnologia convencional i s'ha de tenir present aquesta opció.

La quantitat aproximada de residus de fusta i poda aprofitables energèticament a les comarques gironines, més properes a la zona de Domeny, és de 47.907T/any mentre que les necessitats de la planta de cogeneració són de 23.139 T/any, així que la disponibilitat de combustible és el doble de les necessitats.

Amb tota aquesta informació s'ha conclòs que aprofitar aquest tipus de residu a la zona del Pla de Baix de Domeny, col·laborarà a assolir l'objectiu de sostenibilitat, així que aquesta és la idea base.

El mètode per tal d'assolir l'objectiu de sostenibilitat a partir dels subproductes de rebuig de biomassa és la cogeneració.

Aquesta tècnica es troba desenvolupada sobretot per al gas natural, però existeix l'opció experimental d'aplicar-la amb biomassa, que tot i que no es troba tant estesa, està experimentant una ràpida evolució tècnica i la seva implantació i eficiència es veuen afavorides amb el pas del temps.

Per una banda, cal tenir en compte que l'evolució d'aquest tipus de tecnologia encara es veu eclipsada pel baix preu dels combustibles fòssils, encara que per altra, l'impuls que experimenten les energies renovables, degut a la necessitat de diversificar l'origen de l'energia en aquest país, va en augment, juntament amb la conscienciació de la societat envers el medi ambient i l'esgotament dels combustibles fòssils.

Al present projecte s'ha estudiat la cogeneració a partir del Cicle Orgànic de Rankine (ORC), trobar una planta d'aquestes dimensions, i el funcionament de la qual tingués lloc amb biomassa no ha estat fàcil. Després de la recerca de informació sobre diferents tècniques i les diverses formes de combustibles procedents de biomassa, es va decidir que s'optaria per la combustió de biomassa.

A partir dels estudis tècnics i econòmics duts a terme es demostra que, en l'actualitat, apostar per una planta de cogeneració amb biomassa no és comparativament viable econòmicament, ja que la inversió que suposa no es compensa amb els beneficis. Val a dir que en aquests beneficis no es contemplen els costos ambientals, els quals suposarien un avantatge comparatiu respecte altres processos que utilitzen altres combustibles no renovables.

S'ha de tenir present que la situació actual del preu dels combustibles fòssils incrementarà notablement en pocs anys, donant lloc a que la biomassa esdevingui un combustible més atractiu econòmicament i per tant un alternativa viable.

Un altre punt clau per a la viabilitat d'aquest projecte és la diferència envers la producció elèctrica, un cop avaluades les dues opcions de cogeneració resulta que la diferència en l'eficiència en el rendiment elèctric de la cogeneració amb gas, és quasi quatre vegades superior a la de la biomassa, encara que aquest rendiment augmentarà en al futur.

Malgrat l'increment de la retribució deguda a la utilització de biomassa com a combustible que es contempla al *RD 661/2007*, el rendiment elèctric no és prou alt per obtenir una viabilitat econòmica atractiva.

Una fórmula per millorar la viabilitat d'aquesta planta és que la demanda de calor sigui constant al llarg del temps, així el benefici de la producció de calor i d'electricitat es maximitzaria. Una proposta és la venda de calor al sector industrial o la instal·lació d'un sistema d'absorció per al subministrament d'aigua freda per a refrigeració a les vivendes durant els mesos calorosos.

Si el preu del gas natural s'incrementés, la rendibilitat de la planta de cogeneració amb biomassa augmentaria i els promotors optarien per aquest tipus d'alternativa.

SÍNTESI

SECTOR DEL PLA DE BAIX DE DOMENY

Aquesta zona es troba situada a l'oest de la ciutat de Girona. L'actuació urbanística que s'hi duu a terme pretén ser un referent sostenible per a criteris ambientals i energètics.

En aquest plànol s'observen les zones d'equipament on seria possible la ubicació de la planta de cogeneració. La més adient seria la situada més cap a l'oest, marcada al plànol.

Dades de població i habitatges	
Nombre màxim d'habitatges	1.219 habitatges
Habitants estimats	3.047 persones
Habitants per habitatge	2.5 persones
Densitat habitatges	50 habitatges/Ha
Superfície mitja d'un habitatge	80 m2
Superfície total de la zona a urbanitzar	24 Ha
Total sòl ús privat	40%

Necessitats de calefacció i ACS dels habitatges	
Temperatura de confort	22,5ºC
Flux de calor	80W/m2
Potència màxima per vivenda	7,2 kW/habitatge
Potència màxima total	8.777kWt
Necessitats tèrmiques per vivenda	19.124kWht/habitatge any
Necessitats tèrmiques anuals	23.312.098kWht

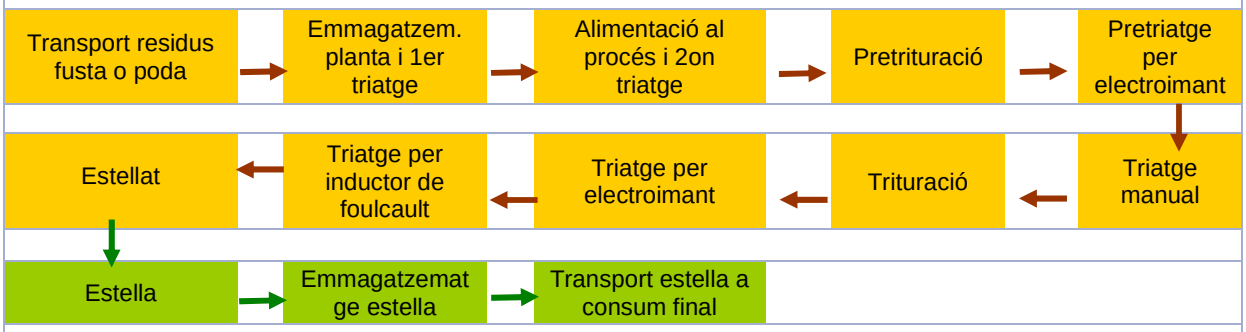
ESTELLA DE RESIDUS DE FUSTA I PODA

Codi CER dels residus de fusta i poda estudiats		
030101 Escorça i suro	150103 Envàs de fusta	200138 Fusta
030105 Retalls fusta, fulloles	170201 Fusta	200307 Voluminosos
030301 Escorça i suro	191207 Fusta	200201 Poda

Disponibilitat de residus de fusta i poda utilitzables com a font d'energia (2008)			
	Fusta (T)	Poda (T)	Total (T)
Comarques de Girona	44.279	3.628	47907[15]

Propietats	
Forma	Plana i mida petita. Longitud: 2 a 10cm. Ample: 2 a 6cm. Gruix: ≤2cm.
Humitat	Mida petita costa l'assecatge. Ha d'estar com a màxim 30% b.h.
Densitat	Baixa, entre 0,25 a 0,35kg/dm^3.
% d'escorça	Hi ha poca quantitat d'escorça.
% de cendres	Presència més elevada de cendres, degut al contingut de més impureses.
PCI	Entre 15.048 i16.720kJ/kg.
Pintures	Presència de pintures i vernissos.

Procés de transformació del residu de fusta i poda en estella



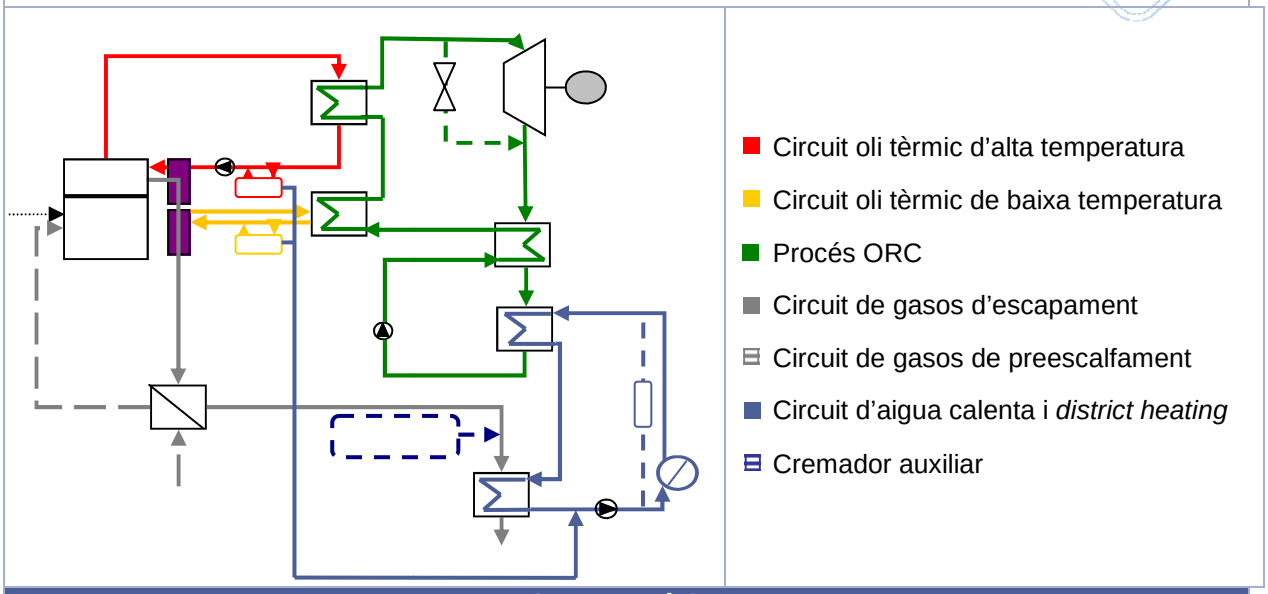
Cost i preu mercat de l'estella de fusta i poda			
	Generador de residus	Responsable del triatge i estellatge	Consumidor d'estella
Cost transport	30 a 40 €/T		
Cost tractament	35 €/T		
Cost del triatge i estellatge		25 €/T	
Transport estella		20 €/T	
Preu consumidor final			60 €/T

Avantatges	Inconvenients
Reducció dels combustibles fòssils	Dispersió espacial biomassa
Balanç d'emissions de CO_2 pràcticament neutre.	
No augment efecte hivernacle	
Fàcil emmagatzemar	
Residus es converteixen en matèries primeres	El transport està menys desenvolupat que els combustibles fòssils
Reducció biomassa residual	
La petita producció de cendres es converteixen en adobs naturals	
Obtenció energia	
Reducció de SO_2 i NO_2, evitant pluja àcida.	Gran espai d'emmagatzematge
Reducció d'abocament a un dipòsit de residus	
Reducció de cremar sense obtenir energia a canvi	
Preus competitius i estables	

[15] S'obtindria una quantitat més elevada si l'Agència de Residus de Catalunya tingués totes les dades.

SISTEMA TURBODEN DE COGENERACIÓ AMB BIOMASSA

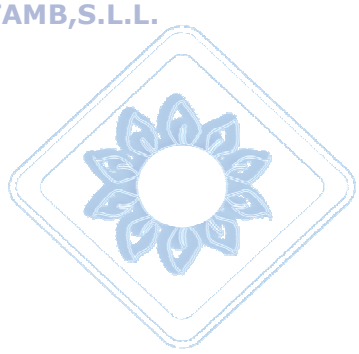
Diagrama simplificat de la planta de cogeneració amb biomassa projectada.



Dades energètiques		
Biomassa consumida a caldera		23.139T/any
Potència tèrmica caldera		6.715kWt
Rendiment elèctric		19,6%
Potència elèctrica	produïda	1.317kWe
	venuda	1.255kWe
Potència tèrmica generada		5.350kWt
Potència tèrmica cremador auxiliar		4.899kWt
Potència mitja *district heating*		3.447kWt
Potència màxima de mitjana del *district heating*		6.840kWt

ANÀLISI FINANCERA DE LA COGENERACIÓ AMB BIOMASSA RESIDUAL DE FUSTA I PODA

Inversió planta		3.810.000€
Ingressos	Venta electricitat	1.171.000€/any
	Venta energia tèrmica	1.102.000€/any
Costos operacionals		1.757.000€/any
Beneficis		516.000€/any
Període de retorn de la inversió (PRI)		9 anys
Taxa interna de rendibilitat (TIR)		9.5%



GLOSSARI

AGLOMERAT, material fabricat mitjançant pressió i calor sobre partícules de fusta o altres materials amb adició d'algun adhesiu.

AUTOCARREGADOR, tractor forestal de desembosc que consta d'una caixa o remolc i d'una grua articulada, en la que al seu extrem hi ha una grapa per carregar la fusta al remolc.

BIOCOMBUSTIBLE, combustible constituït per un agregat de matèria orgànica, amb un poder calorífic elevat que prové directament o indirectament de la captació i la fixació d'energia solar en processos de fotosíntesi.

BIOMASSA, fracció biodegradable dels productes, material de rebuig i residus d'origen biològic procedents d'activitats agràries (incloses les substàncies d'origen vegetal i d'origen animal), de la silvicultura i de les indústries connexes, incloses la pesca i l'aqüicultura, així com la fracció biodegradable dels residus industrials i municipals.

BIOMASSA ENERGÈTICA, inclou tots aquells materials que són biomassa susceptibles de ser utilitzats amb fins energètics.

BIOMASSA FORESTAL, el conjunt de biomassa llenyosa que prové de la matèria produïda pels boscos.

BIOMASSA RESIDUAL, residus generats per les activitats humanes (agrícoles, forestals o ramaderes) i pels nuclis urbans (residus sòlids urbans i aigües residuals).

BRIQUETES, cilindres de 5 cm a 13 cm de diàmetre i de 5 cm a 50 cm de longitud fets a partir de serradures, estelles mòltes o altres residus comprimits que poden ser utilitzats com a combustibles.

CABRESTANT, torn de tracció de tambor vertical que manté enrotllades dues o tres voltes del cable que arrossega o eleva la càrrega.

CALOR ÚTIL, el calor produït en un procés de cogeneració per satisfer una demanda econòmicament justificable.

CICLE ORGÀNIC RANKINE (ORC), és un cicle termodinàmic que opera amb oli orgànic. Aquest es produït en una caldera d'alta pressió per ser portat a una turbina on es produeix energia cinètica. Després passa a un condensador on l'oli restant passa a estat líquid per poder entrar a una bomba en la que es pujarà la pressió per tornar-lo a ingressar a la caldera.

COGENERACIÓ, generació simultània, en un procés, d'energia tèrmica i elèctrica.

COGENERACIÓ A PETITA ESCALA, les unitats de cogeneració amb una potencia instal·lada inferior a 1 MW_e.

COGENERACIÓ D'ALTA EFICIÈNCIA, cogeneració que compleixi els criteris de l'annex III de la Directiva 2004/8/CE.

COMBUSTIBLE, qualsevol material capaç d'alliberar energia quan es crema, procés durant el qual canvia o transforma la seva estructura química. Material que pot cremar amb generació de calor.

COMPACTACIÓ, augment de la densitat d'un material per reducció dels espais buits entre les partícules que el conformen.

COMPOST, matèria orgànica parcialment descomposta que s'empra per millorar l'estructura dels sòls i fertilitzar-los.

DEMANDA ECONÒMICAMENT JUSTIFICABLE, la demanda que no superi les necessitats de calor o refrigeració i que de no recórrer a la cogeneració, es satisfaria en condicions de mercat mitjançant processos de producció d'energia convencionals.

DENSITAT EN VERD, relació entre el pes i el volum de la fusta d'un arbre (o altre material vegetal) acabat de tallar.

EFECTE HIVERNACLE, fenomen que consisteix en l'escalfament de l'atmosfera a causa de la seva transparència a la radiació solar i la seva capacitat d'absorbir la radiació terrestre.

EFICIÈNCIA, l'eficiència calculada a partir dels "valors calorífics nets" dels combustibles (també denominats "valors calorífics inferiors").

EFICIÈNCIA GLOBAL, la suma anual de la producció d'electricitat i energia mecànica i de calor útil dividida per la quantitat de combustible consumida per a la producció de calor mitjançant un procés de cogeneració i per la producció bruta d'electricitat i energia mecànica.

ELECTRICITAT DE COGENERACIÓ, l'electricitat generada en un procés relacionat amb la producció de calor útil i calculada d'acord amb la metodologia establerta a l'annex II de la Directiva 2004/8/CE.

ELECTRICITAT DE RESERVA, electricitat subministrada a través de la xarxa elèctrica sempre que el procés de cogeneració es vegi pertorbat, inclosos els períodes de manteniment o per averia.

ELECTRICITAT COMPLEMENTÀRIA, l'electricitat subministrada a través de la xarxa elèctrica en els casos en què la demanda d'electricitat sigui superior a la producció elèctrica del procés de cogeneració.

ENCENALL, cadascun dels trossos prims de fusta que es fan quan es treballa amb el ribot o una altra eina semblant i que surten enrotllats en espiral.

ESCORÇA, part externa del tronc i branques dels arbres i plantes llenyoses, de color i consistència diferents de la fusta.

ESTELLA, fragmentació de la biomassa, formada generalment per fusta i escorça.

ESTERI, unitat de mesura destinada exclusivament al brancatge, equivalent a la quantitat de llenya que es pot encabir en un cub d'un metre cúbic, és sempre inferior al metre cúbic real de fusta.

HUMITAT, variable que més influeix en el poder calorífic. Com més gran és la humitat, menor és el poder calorífic. Es pot mesurar en base humida o en base seca.

HUMITAT EN BASE SECA (b.s), la massa d'aigua continguda en la biomassa dividida pel pes de la matèria seca.

HUMITAT EN BASE HUMIDA (b.h.), la massa d'aigua continguda en la biomassa dividida pel pes total de la biomassa.

PASTA DE PAPER, matèria prima per la fabricació de paper, que és una massa constituïda bàsicament per cel·lulosa de matèria vegetal.

PÈL·LET, petits cilindres que s'obtenen de triturar i assecar la fusta o altres elements vegetals tot premsant-los i comprimint-los.

PERCENTATGE DE CENDRES, és la quantitat de material sòlid no combustible per quilogram de material. Les cendres poden ser un factor limitant pel rendiment energètic i poden comportar majors problemes de manteniment i neteja.

PODER CALORÍFIC INFERIOR (PCI), fa referència a la quantitat de calor que desprèn la unitat de massa d'un combustible quan es crema, una vegada evaporada l'aigua produïda en la combustió.

PODER CALORÍFIC SUPERIOR (PCS), fa referència a la quantitat de calor que desprèn la unitat de massa d'un combustible quan es crema, tenint en compte el vapor d'aigua condensat en la combustió.

PRODUCCIÓ EN RÈGIM DE COGENERACIÓ, la suma de l'electricitat i energia mecànica i de calor útil procedents de la cogeneració.

RELACIÓ ELECTRICITAT/CALOR, la relació entre l'electricitat de cogeneració i el calor útil quan es funciona en mode de cogeneració total emprant dades operatives de la unitat concreta.

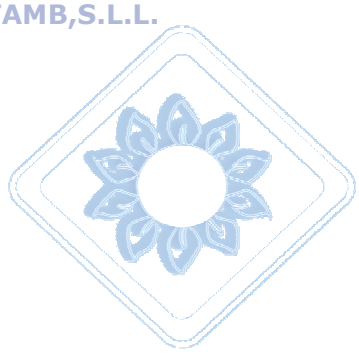
RESIDUS SÒLIDS URBANS (RSU), residus originats diàriament en l'activitat domèstica i comercial de ciutats i pobles, també es consideren residus sòlids urbans els que no tinguin la qualificació de perillosos.

SERRADURA, residu que s'obté en l'operació de serrat de la fusta. A diferència de l'encenall, la serradura té forma arrodonida.

UNITAT DE COGENERACIÓ, una unitat que pot funcionar en modalitat de cogeneració.

UNITAT DE MICROCOGENERACIÓ, la unitat de cogeneració amb una potència màxima inferior a $50kW_e$.

VALOR DE REFERÈNCIA DE L'EFICIÈNCIA DE LA PRODUCCIÓ SEPARADA, l'eficiència de les produccions alternatives separades de calor i electricitat que es pretén substituir mitjançant el procés de cogeneració.



BIBLIOGRAFIA

Ahedo González-Zabaleta, C.M. et at. *El mercado de las energias renovables en España. Situación 2008.* Colección EOI Medio Ambiente (2009).

Ajuntament de Girona. *Pla Parcial del Pla de Baix de Domeny. Propostes d'urbanisme i edificació sostenible* (2005).

Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). http://www.appa.es/04biomasa/04que_es.php

Asociación española para la promoción de la cogeneración (COGEN España) http://www.cogenspain.org/site/default.aspx?tabid=54

Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. CIEMAT. http://www.ciemat.es/portal.do?TR=C&IDR=180

Centre tecnològic forestal de Catalunya. [Data consulta 2010] http://www.ctfc.cat

Departament d'Economia i Finances. Generalitat de Catalunya. [Data consulta: Maig 2010]. http://www.gencat.cat/economia/

EDER Estratègia per al desenvolupament de les energies renovables a la comarca de la Selva *Diagnosi dels sectors vinculats a la biomassa a la comarca de la Selva*. Santa Coloma de Farners. Setembre 2009. http://www.selva.cat/renovables/

Folch, R. Et at. Generalitat de Catalunya. Departament de Treball i Industria. *L'energia en l'horitzó 2030.* (2005)

Gas Natural Fenosa. http://www.empresaeficiente.com [Data consulta: 2010]

Generalitat de Catalunya. Departament de treball i indústria. *Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015. Política energètica.* http://www.gencat.cat/economia/doc/doc_68879950_1.pdf

Generalitat de Catalunya. Departament d'Economia i Finances. *Revisió del Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015* (Revisió Desembre 2009). [Data consulta 2010]. http://www.gencat.cat/economia/doc/doc_47900574_1.pdf

Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Servei Meteorològic de Catalunya. *Atles Climàtic Digital de Catalunya.* http://www.meteocat.com/mediamb_xemec/servmet/marcs/marc_clima.html

Guinda, V. Et at. Grupo AESA. Generalitat de Catalunya. Institut català d'energia. *Potencial de cogeneració a Catalunya.* (2005).

ICAEN. *Avantprojecte pel subministrament d'energia tèrmica al sector Pla de Baix de Domeny.* (2004)

IDAE. Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Manuales:

Biomasa:Producción eléctrica y cogeneración.(2007)
Energia de la biomasa (2007)
Biomasa: Gasificación (2007)
Biomasa: Maquinaria agrícola y forestal (2007)
Biomasa: Edificios (2007)
Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (2007)

Institut Català de l'Energia http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen [Data consulta: 2010]

Libro verde "Hacia una estrategia Europea de seguridad del abastecimiento energético". Comunidades Europeas (2001).

Martínez Lozano, S. (2009). *Evaluación de la Biomasa como recurso energético renovable en Catalunya*. Tesi doctoral Universitat de Girona. [Data consulta 2009-2010].

Obernberger I. Et al*. Description and evaluation of the new 1,000kW Organic Rankine Cycle process integrated in the biomass CHP plant in Lienz, Austria.* Euroheat & Power, Volume 10/2002.

Observatori de la biomassa. Consorci forestal a Catalunya. [Data consulta: Maig 2010]. http://observatoribiomassa.forestal.cat/

Perez Arriaga, J.I. Instituto de Investigación Tecnológica (IIT), Universidad Pontificia Comillas de Madrid. *Libro blanco sobre la reforma del marco regulatorio de la generación eléctrica en España.* (2005).

RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente, nº 137. Especial biomassa (2009). http://www.retema.es

Ribes Besalú, Narcís. Consell d'iniciatives locals per al medi ambient de les comarques de Girona. *Informe sobre diferents escenaris per a la valorització energètica de la biomassa procedent dels boscos gironins*.(2009)

Roca i Serradell, J. Generalitat de Catalunya. Institut català d'energia. *Eficiència energètica de la combustió i Situació a Catalunya.* (2005)

The bioenergy international. Edición español. Nº 6, enero 2010. http://www.bioenergyinternational.es

Villares Martín, M. *Cogeneración*. Fundación Confemetal. Madrid. Edició 2003, 2a edició.

NORMES DE REFERÈNCIA

2001/77/CE *promoción de electricidad generada a partir de fuentes de energias renovables.*

2004/8/CE *sobre fomento de la cogeneración.*

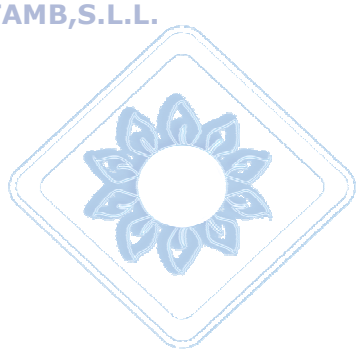
DECRET 21/2006, de 14 de febrer, *pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis.*

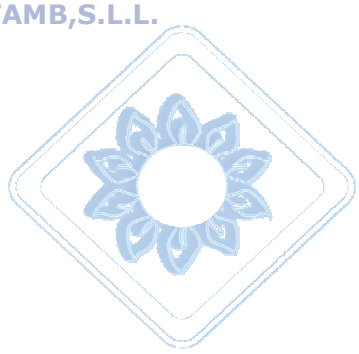
RD 1751/1998, de 31 de julio, *por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para las Instalaciones Térmicas de los Edificios*.

RD 616/2007, de 11 de mayo, *sobre fomento de la cogeneración.*

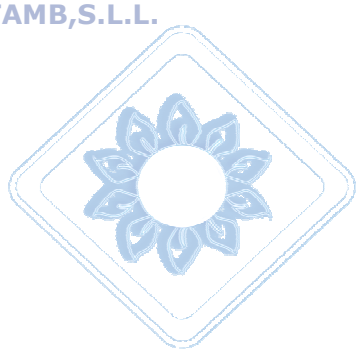
RD 661/2007, de 25 de mayo, *por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.*

RD 1027/2007, de 20 de julio*, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.*





ANNEX



ANNEX 1 : CODIFICACIÓ DELS RESIDUS DE FUSTA I PODA

Els residus estan classificats pel codi CER (Catàleg Europeu de Residus), amb una codificació de sis xifres, les dues primeres identifiquen el grup de residus, les dues següents el subgrup, i les dues últimes xifres el residu en qüestió.

Codi de la fusta

03 – Residus de la transformació de la fusta i de la producció de taulers i mobles, pasta de paper, paper i cartró.

0301 - Residus de la transformació de la fusta i de la producció de taulers i mobles

			Vies de gestió orientatives	
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
030101	Residus d'escorça i suro	no especial	V15 V61 V83	T21 T12
030105	Serradures, encenalls, retalls, fusta, taulers de partícules i fulloles diferents dels esmentats en el codi 030104	no especial	V15 V61 V83 V82	T21 T12

Taula 38. Llistat de residus amb el codi 0301. [Font: ARCAT]

0303 - Residus de la producció i transformació de pasta de paper, paper i cartró

			Vies de gestió orientatives	
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
030301	Residus d'escorça i fusta	no especial	V61 V82 V15 V83	T12

Taula 39. Llistat de residus amb el codi 0303. [Font: ARCAT]

15 – Residus d'envasos, absorbents, draps de neteja, materials de filtració i roba de protecció no especificats en cap altra categoria

1501 - Envasos (inclosos els residus d'envasos de la recollida selectiva municipal)

			Vies de gestió orientatives	
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
150103	Envasos de fusta	no especial	V15 V51 V61	T12

Taula 40. Llistat de residus amb el codi 1501. [Font: ARCAT]

17 – Residus de la construcció i demolició (inclosa la terra excavada de zones contaminades)

1702 - Fusta, vidre i plàstic

		Vies de gestió orientatives		
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
170201	Fusta	no especial	V15 V61	-

Taula 41. Llistat de residus amb el codi 1702. [Font: ARCAT]

19 – Residus de les instal·lacions per al tractament de residus, de les plantes externes de tractament d'aigües residuals i de la preparació d'aigua per a consum humà i d'aigua per a ús industrial

1912 - Residus del tractament mecànic de residus (per exemple, classificació, trituració, compactació, pel·letització) no especificats en cap altra categoria

		Vies de gestió orientatives		
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
191207	Fusta diferent de l'especificada en el codi 191206	no especial	V15 V61	-

Taula 42. Llistat de residus amb el codi 1912. [Font: ARCAT]

20 – Residus municipals (residus domèstics i residus assimilables procedents dels comerços, indústries i institucions), incloses les fraccions de recollides de manera selectiva.

2001 - Fraccions recollides de manera selectiva (excepte les especificades en el subcapítol 15 01)

		Vies de gestió orientatives		
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
200138	Fusta diferent de l'especificada en el codi 200137[16]	no especial	V15 V61	T12

Taula 43. Llistat de residus amb el codi 2001. [Font: ARCAT]

2003 - Altres residus municipals

		Vies de gestió orientatives		
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
200307	Residus voluminosos	no especial	V15 V61 V41	T12 T36

Taula 44. Llistat de residus amb el codi 2003. [Font: ARCAT]

[16] 200137 Fusta que conté substàncies perilloses

Els residus voluminosos comprenen els mobles i trastos vells com matalassos, residus electrònics, i tota mena d'andròmines.

Codi de la poda

20 – Residus municipals (residus domèstics i residus assimilables procedents dels comerços, indústries i institucions), incloses les fraccions de recollides de manera selectiva.

2002 - Residus de parcs i jardins (inclosos els residus de cementiris)

		Vies de gestió orientatives		
CER	**Descripció**	**CLA**	**VAL**	**TDR**
200201	Residus biodegradables	no especial	V83 V85	-

Taula 45. Llistat de residus amb el codi 2002. [Font: ARCAT]

Els residus biodegradables de parcs i jardins s'inclouen els residus de jardineria i poda de grans dimensions, tant si provenen d'espais públics com privats.

Vies de gestió per la biomassa residual

Les vies de gestió que proposa l'Agència de Residus de Catalunya són:

- Valorització
  - V15. Reciclatge i reutilització de fustes
  - V61. Utilització com a combustible
  - V83. Compostatge
  - V85. Valorització amb procés anaerobi + compostatge
- Tractament
  - T12. Deposició de residus no especials
  - T21. Incineració de residus no halogenats

ANNEX 2 : CÀLCUL VENDA ELECTRICITAT

Biomassa Residual

La retribució en tarifa regulada única (PFT) ve donada per:

$$PFT = Ptr + CR + DH + Cef + Des$$

$$PFT = 942.865,42 + 7.761,28 + 1.650,01 + 226.334,35 = 1.178.611,07€/any$$

Així la retribució en tarifa regulada única és de 1.178.611,07 euros a l'any.

On:

Ptr: Tarifa base.

$$Ptr = Tarifa\ regulada * Electricitat\ exportada$$

Com el REE_i és del 43,63%, supera el REE mínim exigible per cogeneracions amb biomassa tipus b.6 i b.8 del 30%. Així es va a l'epígraf a.1.3 del RD 661/2007, i en concret, a la taula d'instal·lacions que utilitzen diferents tipus de biomassa, a l'apartat corresponent b.6.2 (residus de poda) i b.8.2 (residus de fusta).

Grup	Combustible	Termini	Tarifa regulada (c€/kWh)	Prima de referència (c€/kWh)	Límit Superior (c€/kWh)	Límit Inferior (c€/kWh)
a.1.3	b.6.2	Primers 15 anys	12,5710	8,2114	13,3100	12,0900
	b.8.2	Primers 15 anys	9,2800	4,9214	10,0200	8,7900

Taula 46. Retribució de l'electricitat produïda per instal·lacions que utilitzen diferents tipus de biomassa dins la categoria b), grups b.6, i b.8: [Font: Article 36 del RD 661/2007]

S'assumeix que la proporció de biomassa de residus de poda és de 7,57%, i residus de fusta és de 92,43%, i que es manté constant durant tots els mesos de l'any.

$$Ptr = ((12,5710 * 0,757) + (9,2800 * 0,9243))c€/kWh * 9894420kWhe/any = 94.286.542,23c€/any$$

CR: Complement per reactiva. Suposant un factor de potència igual a 1, durant les 24 hores del dia, es produeix una bonificació del 4% sobre la energia produïda.

$$CR = 0,04 * 0.25 * 9.894.420kWhe/any * 7,8441c€/kwh = 776.128,20c€/any$$

DH: Complement per discriminació horària. La quantitat a percebre per l'electricitat en hora punta serà la que es correspon segons la tarifa (pcr), multiplicada per 1,0462, és a dir un 4,62 % d'increment.

$$DH = 0,00175 * 94.286.542,23c€ = 165.001,45c€$$

Cef: Complement per eficiència. Al sobrepassar el REE mínim exigit es rep el complement que es calcula:

$$Cef = 1.1 * \left(\frac{1}{REE\,\min} - \frac{1}{REEi} \right) * Cmp$$

On Cmp= Cost unitari de la matèria prima del gas natural, que equival a 1,997c€.

$$Cef = 1.1 * \left(\frac{1}{0.30} - \frac{1}{0,4363} \right) * 1,997 c€ = 2.287 c€ / kWh$$

$$2,287 c€ / kWh * 9.894.420 kWhe / any = 2.263.343.548 c€ / any$$

Des: Costos de desviaments per variació entre la previsió i l'exportació real. No es considera per simplificació.

Biomassa Forestal

La retribució en tarifa regulada única (PFT) ve donada per:

$$PFT = Ptr + CR + DH + Cef + Des$$

$$PFT = 1.584.225,27 + 7.761,28 + 2.772,39 + 226.334,35 = 1.594.758,97 €/any$$

Així la retribució en tarifa regulada única és de 1.594.758,97 euros a l'any.

On:

Ptr: Tarifa base.

$$Ptr = Tarifa\ regulada * Electricitat\ exportada$$

Com el REE_i és del 43,63%, supera el REE mínim exigible per cogeneracions amb biomassa tipus b.1 del 30%. Així es va a l'epígraf a.1.3 del RD 661/2007, i en concret, a la taula d'instal·lacions que utilitzen diferents tipus de biomassa, a l'apartat corresponent b.6.1 (Cultius energètics d'origen agrícola o forestal).

Grup	Combustible	Termini	Tarifa regulada (c€/kWh)	Prima de referència (c€/kWh)
a.1.3	b.6.1	Primers 15 anys	16,0113	11,6608

Taula 47. Retribució de l'electricitat produïda per cogeneracions amb diferents tipus de biomassa. [Font: Article 35 apartat 3 (a.1.3) del RD 661/2007]

S'assumeix que la proporció de biomassa de residus de poda és de 7,57%, i residus de fusta és de 92,43%, i que es manté constant durant tots els mesos de l'any.

$$Ptr = (16,0113 c€ / kWh * 9894420 kWhe / any = 1.584.225,27 c€ / any$$

CR: Complement per reactiva. Suposant un factor de potència igual a 1, durant les 24 hores del dia, es produeix una bonificació del 4% sobre la energia produïda.

$$CR = 0,04 * 0.25 * 9.894.420 kWhe / any * 7,8441 c€ / kwh = 776.128,20 c€ / any$$

DH: Complement per discriminació horària. La quantitat a percebre per l'electricitat en hora punta serà la que es correspon segons la tarifa (pcr), multiplicada per 1,0462, és a dir un 4,62 % d'increment.

$$DH = 0{,}00175 * 158.422.526{,}95 c€ = 277.239 c€$$

Cef: Complement per eficiència. Al sobrepassar el REE mínim exigit es rep el complement que es calcula:

$$Cef = 1.1 * \left(\frac{1}{REE\,\min} - \frac{1}{REEi} \right) * Cmp$$

On Cmp= Cost unitari de la matèria prima del gas natural, que equival a 1,997c€.

$$Cef = 1.1 * \left(\frac{1}{0.30} - \frac{1}{0{,}4363} \right) * 1{,}997 c€ = 2.287 c€ / kWh$$

$$2{,}287 c€ / kWh * 9.894.420 kWhe / any = 2.263.343.548 c€ / any$$

Des: Costos de desviaments per variació entre la previsió i l'exportació real. No es considera per simplificació.

ANNEX 3 : CÀLCUL DE LA TAXA INTERNA DE RENDIBILITAT

Taxa Interna de Rendibilitat (TIR)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Cash flow	-3810	425	436	444	454	464	475	486	497	509	520	532	545	558	571	584
Coeficient d'actualització (interès)																
7,0	1,00	0,93	0,87	0,82	0,76	0,71	0,67	0,62	0,58	0,54	0,51	0,48	0,44	0,41	0,39	0,36
7,5	1,00	0,93	0,87	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,56	0,52	0,49	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34
8	1,00	0,93	0,86	0,79	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34	0,32
8,5	1,00	0,92	0,85	0,78	0,72	0,67	0,61	0,56	0,52	0,48	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32	0,29
9	1,00	0,92	0,84	0,77	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27
9,5	1,00	0,91	0,83	0,76	0,70	0,64	0,58	0,53	0,48	0,44	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26
10	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,24
10,5	1,00	0,90	0,82	0,74	0,67	0,61	0,55	0,50	0,45	0,41	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,22
11	1,00	0,90	0,81	0,73	0,66	0,59	0,53	0,48	0,43	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,23	0,21
11,5	1,00	0,90	0,80	0,72	0,65	0,58	0,52	0,47	0,42	0,38	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20
12	1,00	0,89	0,80	0,71	0,64	0,57	0,51	0,45	0,40	0,36	0,32	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18

Valor Actual Net																	**VAN(€)**
7	-3810,4	397,2	380,8	362,4	346,4	330,8	316,5	302,7	289,3	276,9	264,3	252,7	242,0	231,6	221,4	211,7	616,3
7,5	-3810,4	395,3	377,3	357,4	340,0	323,2	307,8	292,9	278,7	265,5	252,3	240,1	228,8	217,9	207,5	197,4	471,7
8	-3810,4	393,5	373,8	352,5	333,7	315,8	299,3	283,6	268,5	254,6	240,9	228,2	216,4	205,2	194,4	184,1	334,1
8,5	-3810,4	391,7	370,4	347,6	327,6	308,6	291,1	274,6	258,8	244,3	230,0	216,9	204,8	193,2	182,2	171,8	203,0
9	-3810,4	389,9	367,0	342,8	321,6	301,6	283,2	265,9	249,4	234,4	219,7	206,2	193,8	182,0	170,9	160,3	78,2
9,5	-3810,4	388,1	363,6	338,2	315,8	294,7	275,6	257,5	240,5	224,9	209,8	196,0	183,4	171,5	160,3	149,7	-40,8
10	-3810,4	386,4	360,3	333,6	310,1	288,1	268,1	249,4	231,9	215,9	200,5	186,5	173,7	161,6	150,4	139,8	-154,3
10,5	-3810,4	384,6	357,1	329,1	304,5	281,6	260,9	241,6	223,6	207,2	191,6	177,4	164,5	152,4	141,1	130,6	-262,6
11	-3810,4	382,9	353,9	324,6	299,1	275,4	254,0	234,1	215,7	199,0	183,1	168,8	155,8	143,7	132,5	122,1	-366,0
11,5	-3810,4	381,2	350,7	320,3	293,7	269,2	247,2	226,8	208,0	191,1	175,1	160,7	147,6	135,5	124,4	114,1	-464,7
12	-3810,4	379,5	347,6	316,0	288,5	263,3	240,6	219,8	200,7	183,6	167,4	152,9	139,9	127,9	116,8	106,7	-559,1