



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERS
INDUSTRIALS VALÈNCIA

**TREBALL FINAL DE GRAU EN ENGINYERIA EN
TECNOLOGIES INDUSTRIALS**

**DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER
PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA
PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A
PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA**

AUTOR: Bryan Germán Martín

TUTORA: Maria Teresa Montañés Sanjuan

CURS ACADÈMIC: 2018/2019

AGRAÏMENTS

Voldria aprofitar l'oportunitat que ací tinc per agrair el suport que he rebut tots aquests anys com a estudiant i com a persona.

Als meus pares, Fidela i Fernando, per tota l'educació que m'han donat, les oportunitats que m'han ofert i per ser el meu suport en els bons i els mals moments.

Als meus germans, Soraya, Nano i Ginés, per estar sempre que els he necessitat i per ser els pilars fonamentals de la meua vida.

Als meus nebots, que són l'alegria de la família i a qui transmetré tot l'amor pel coneixement i la cultura que a mi em transmeteren al seu dia.

I, en general, a tots aquells familiars, amics i persones que s'han creuat en la meua vida i que han fet que hui siga la persona que sóc.

A tots vosaltres, us dedique aquest treball.

RESUM

El següent Treball de Final de Grau parteix de la problemàtica creixent dels residus urbans que, per no poder-se triar correctament o per no tindre una opció viable de reciclatge, acaben dins d'un abocador a l'actualitat.

Aquesta situació insostenible a llarg termini ha fomentat el desenvolupament de nombroses idees com l'Economia Circular que promou una jerarquia d'utilització dels residus.

Basant-se en aquest tipus d'economia es planteja una solució més sostenible per als residus que s'envien a abocador d'una planta real de triatge i compostatge situada al municipi valencià de Quart de Poblet.

Així, en el present treball es plantegen el fluxos dels diferents materials que acaben en aquesta planta per tal de conèixer la quantitat final que no s'aconsegueix triar i que, per tant, es enviada actualment a abocador. Coneixent la composició del rebuig es comprovarà que aquest és apte per a la valorització energètica i es calcularà l'energia elèctrica teòrica que seria capaç de produir per veure si és viable econòmicament la instal·lació.

A més, plantejant la reacció de combustió es calcularà la producció de contaminants presents en els gasos de combustió per veure si compleix la normativa respecte a contaminació o si és necessària la instal·lació d'un sistema de depuració de gasos d'escapament.

Finalment, se seleccionarà la maquinària que compondrà aquesta instal·lació, es calcularà el seu cost de construcció i es proposarà una distribució en planta d'aquesta.

A més, s'analitzarà la viabilitat econòmica de la instal·lació.

Paraules clau: Economia circular, RU, valorització energètica, planta de triatge i compostatge

RESUMEN

El siguiente Trabajo de Final de Grado parte de la problemática creciente de los residuos urbanos que, por no poder ser triados correctamente o por no tener una opción viable de reciclaje, acaban dentro de un vertedero en la actualidad.

Esta situación insostenible a largo plazo ha fomentado el desarrollo de numerosas ideas como la Economía Circular que promueve una jerarquía de utilización de residuos.

Basándose en este tipo de economía se plantea una solución más sostenible para los residuos que se envían a vertedero de una planta real de triaje y compostaje situada en el municipio valenciano de Quart de Poblet.

Así, en el presente trabajo se plantean los flujos de los diferentes materiales que acaban en esta planta con tal de conocer la cantidad final que no se consigue triar y que, por lo tanto, es enviada actualmente a vertedero. Conociendo la composición del rechazo se comprobará que este es apto para la valorización energética i se calculará la energía eléctrica teórica que sería capaz de producir para ver si es viable económicamente la instalación.

Además, planteando la reacción de combustión se calculará la producción de contaminantes presentes en los gases de combustión para ver si cumple la normativa respecto a contaminación o si es necesaria la instalación de un sistema de depuración de gases de escape.

Finalmente, se seleccionará la maquinaria que compondrá esta instalación, se calculará su coste de construcción y se propondrá una distribución en planta de esta.

Además, se analizará la viabilidad económica de la instalación.

Palabras clave: Economía circular, RU, valorización energética, planta de triaje y compostaje

ABSTRACT

This Final Degree Project draws from the growing problems of the urban waste that nowadays ends up in a dumping site, for that reason being, they can't be classified correctly or be given a viable option of being recycled.

This long-term unsustainable situation has triggered the development of numerous ideas like the Circular Economy that fosters a waste utilization hierarchy.

Based on this type of economy, a more sustainable solution is laid out for the waste which is sent to a real waste sorting and composting plant dumping site located in the Quart de Poblet municipality, in Valencia.

In this way, the flowing of different materials ending up in this plant is laid out to figure out the final amount that cannot be sorted and, therefore, is currently being sent to the dumping site. By knowing the scrap composition, it will be confirmed that this is suitable for the energy recovery and the theoretical electric energy that it should be able to produce will be calculated in order to see if the installation is economically viable.

Furthermore, by setting out the combustion reaction, the contaminants presents in the combustion air production will be calculated so as to see if it complies with the regulations regarding contamination or if it's necessary a exhaust gas purification system would be installed.

Finally, the machinery forming this installation will be selected, as well as its construction cost and a plant layout will be provided.

Furthermore, the economic viability of the installation will be analyzed

Key words: Circular Economy, MW, energy recovery, sorting and composting plant

ÍNDEX

DOCUMENTS CONTINGUTS AL TFG

- Memòria descriptiva
- Pressupost
- Plànols

ÍNDEX DE LA MEMÒRIA DESCRIPTIVA

1	Objecte i justificació del treball.....	11
2	Introducció.....	12
2.1	L'economia circular.....	12
2.2	Situació actual de la generació de residus.....	16
2.3	Valorització energètica.....	19
2.4	Context legal.....	21
2.4.1	Acords mundials.....	21
2.4.2	Legislació europea.....	22
2.4.3	Legislació estatal.....	25
2.4.4	Legislació valenciana.....	26
2.5	Situació actual de la valorització energètica.....	27
2.6	Funcionament d'una planta de triatge i compostatge.....	30

3	Localització de l'estudi.....	32
3.1	Localització de la planta.....	32
3.2	Característiques de la planta.....	35
3.3	Diagrama de flux de la planta.....	41
3.4	Tipologia dels RU tractats.....	42
3.5	Rendiments dels processos de separació.....	43
4	Càlcul de l'energia produïda en el procés de valorització.....	45
4.1	Càlcul de la quantitat i composició del rebuig.....	45
4.2	Càlcul de l'energia calorífica produïda.....	49
4.3	Càlcul de l'energia elèctrica produïda.....	50
5	Càlcul d'emissions de gasos de combustió i de producció d'escòries i cendres.....	55
5.1	Càlcul de les emissions de gasos contaminants.....	55
5.2	Càlcul de les emissions de CO ₂	62
5.3	Càlcul de les emissions de partícules.....	64
6	Disseny de la instal·lació.....	66
6.1	Sistema d'incineració de RU.....	66
6.2	Línia de depuració de gasos.....	69
6.3	Sistema de producció d'electricitat.....	70
6.4	Diagrama de tota la instal·lació completa.....	71
7	Conclusions.....	73
8	Bibliografia.....	75

ÍNDIX DEL PRESSUPOST

1	Pressupost d'implantació del sistema proposat.....	80
1.1	Costos d'enginyeria.....	80
1.2	Costos de material.....	82
1.3	Costos de formació dels operaris.....	83
1.4	Pressupost d'implantació total.....	84
2	Pressupost total.....	85
3	Estalvi i període d'amortització.....	86
4	Referències.....	87

ÍNDIX DELS PLÀNOLS

1	Localització de la parcel·la seleccionada.....	90
2	Distribució en planta de la nau de valorització energètica.....	91

DOCUMENT I

MEMÒRIA DESCRIPTIVA

1. Objecte i justificació del treball

D'ençà la revolució industrial, la nostra societat ha vist augmentat el seu nivell de vida i, junt amb un desenvolupament tecnològic cada any més ràpid, hem acabat en una espiral consumista on cada vegada els humans consumim més recursos naturals a un ritme imparable. També, els últims anys hem vist augmentar la quantitat de productes i embalatges de "usar i tirar" propiciat únicament per la comoditat dels humans. Tot això ha fet que, hui en dia, a Espanya cada ciutadà produïska una mitjana d'un kilogram i mig de fem al dia que, sumat a l'augment demogràfic, fa que cada vegada hi haja més residus urbans (abreviat com RU) que hem de tractar.

No obstant això, els últims anys s'ha pogut observar un augment de la conscienciació mediambiental que ha fet que els governs dels diferents estats estiguen començant a tractar aquesta situació com un assumpte cabdal de les seues polítiques davant la urgent situació tant de canvi climàtic com de l'esgotament de les matèries primeres. Front aquest panorama s'està començant a aplicar criteris d'economia circular, per garantir el màxim aprofitament dels recursos dels que disposem els humans. Tanmateix, a Espanya, la destinació de la major part dels residus segueix sent l'abocador, sent aquesta la solució menys recomanable que existeix degut a la saturació del territori i a la possible contaminació del sòl.

Amb la mirada posada en la celeritat que s'ha de tindre en l'aplicació de canvis per tal de complir els acords de la Unió Europea (UE) reflectits en les seues directives, en el present treball s'estudiarà la situació actual d'una planta de triatge i compostatge de la província de València i es proposarà una solució viable per a la fracció rebuig (aquella que actualment enviem a l'abocador) que acomplisca els criteris de l'economia circular.

2. Introducció

2.1. L'economia circular

Com ja s'ha esmentat, la principal motivació del present treball és l'aplicació dels criteris de l'economia circular a l'àmbit del tractament de residus urbans. Però, perquè és aquesta la millor opció per combatre l'actual situació?

El nostre entorn s'ha desenvolupat seguint un sistema econòmic capitalista, però aquest sistema està desactualitzat i ha fracassat des d'un punt de vista mediambiental, ja que posa el seu punt de mira en el benefici econòmic i no pas en l'ecologia; així, les empreses exploten els recursos naturals sense preocupar-se de tindre una visió integral que incloga l'àmbit social i natural.

Per tot això, molta gent podria pensar que la solució seria canviar el nostre sistema econòmic a l'adversari per antonomàsia del capitalisme: el comunisme. No obstant això, el comunisme tampoc ha triomfat des d'un punt de vista ecològic. De fet, dos de les grans catàstrofes ecològiques que han ocorregut a la història han sigut a la Unió Soviètica: la desaparició del mar d'Aral i l'accident de Txernòbil.

Això es deu a que ambdós models es basen en l'economia lineal i comparteixen el mateix procés de producció: extrauen recursos naturals, els refinen, fabriquen peces, s'acoblen i es ven el producte final que s'utilitza fins que s'acaba la seua vida útil i es converteix en un residu.

Molts són els exemples de les catàstrofes que es produeixen a diari per culpa d'aquesta economia lineal: la situació a les mines de coltà al Congo per fer mòbils, el continent de plàstic que s'ha format al pacífic o el barri d'Agbogbloshie a la ciutat ghanesa d'Acra que s'ha convertit en un abocador dels residus tecnològics d'Occident. Però, encara que sembla molt llunyà, també hi ha exemples al País Valencià que l'economia lineal ha propiciat o volia propiciar com, per exemple, la filtració de lixiviats a l'abocador de la Basseta Blanca, els intents de fer *Fracking* per extraure gas o els nombrosos incendis a la marjal de Rafalell i Vistabella deguts a la multitud d'abocadors il·legals que se situen en la zona, entre altres exemples.

És per això que s'ha d'eixir de la dicotomia Capitalisme-Comunisme i dirigir-se cap a una economia circular que ens permeta millorar els resultats econòmics al mateix temps que es redueix l'extracció de recursos, crear nous llocs de treball i altres oportunitats de creixement econòmic, garantir el subministrament de recursos i lluitar contra el canvi climàtic reduint els diferents tipus d'impacte mediambiental.

Per aconseguir fer funcionar aquest sistema hem d'aplicar diversos principis com: una concepció integral dels productes al llarg de la seua vida útil, la reordenació del sistema industrial per optimitzar la gestió de materials i energia, promoure el lloguer i ús de bens front

a la possessió, la reutilització dels residus (o d'una part d'ells) que encara puguen funcionar per l'elaboració de nous productes, el reciclatge, la reparació o la seua valorització energètica en cas que no es puguen aplicar els anteriors principis. D'aquesta forma reduiríem l'ús de recursos i el consum d'energia i, per tant, es reduiria la dependència exterior. A més, es crearien nous llocs de treball basats en aquest sistema i s'ajudaria a reduir les taxes d'atur que tenim al nostre país.

Aquesta concepció moderna de l'economia circular ha sigut fruit de diferents escoles i corrents de pensament que han anat afegint el seu granet de sorra poc a poc, fins arribar a hui en dia [1]. Per exemple, es té el Disseny Regeneratiu, desenvolupat pel professor John T. Lyle amb ajuda dels seus alumnes als qui va demanar que proposaren una sèrie d'idees per arribar a tindre una comunitat en la qual totes les activitats diàries es basaren en viure dins dels límits dels recursos renovables disponibles en la mateixa comunitat, sense degradació mediambiental. Així s'arribà al concepte de disseny regeneratiu, basat en la teoria de sistemes i orientat als processos de disseny, tant d'entorns urbans, edificis, transport o productes. El seu fi, per tant, és la creació de sistemes humans que no hagen de ser descartats.

L'arquitecte i analista industrial Walter Stahel desenvolupà l'Economia del Rendiment (o Performance Economy en anglés). Stahel va esbossar una economia en bucles, com es pot observar en la figura 1, que influirà en la creació d'ocupació, competitivitat econòmica, estalvi de recursos i prevenció de residus. I així s'ho va presentar a la Comissió Europea el 1976 junt amb el seu company Genevieve Reday. De fet, degut a aquesta visió de l'economia en bucles, se li atribueix el concepte Cradle to cradle (Bressol a Bressol) a finals dels anys 70. Hui en dia, les seues idees continuen vigents gràcies a l'Institut de la Vida del Producte [2] (Product-Life Institute) d'Stahel, defenent 4 principis bàsics: l'extensió de la vida dels productes, els bens de llarga duració, les activitats de reacondicionament i la prevenció de residus.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

OUTLINE OF A CIRCULAR ECONOMY

PRINCIPLE

1

Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows
ReSOLVE levers: regenerate, virtualise, exchange

PRINCIPLE

2

Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles
ReSOLVE levers: regenerate, share, optimise, loop

PRINCIPLE

3

Foster system effectiveness by revealing and designing out negative externalities
All ReSOLVE levers

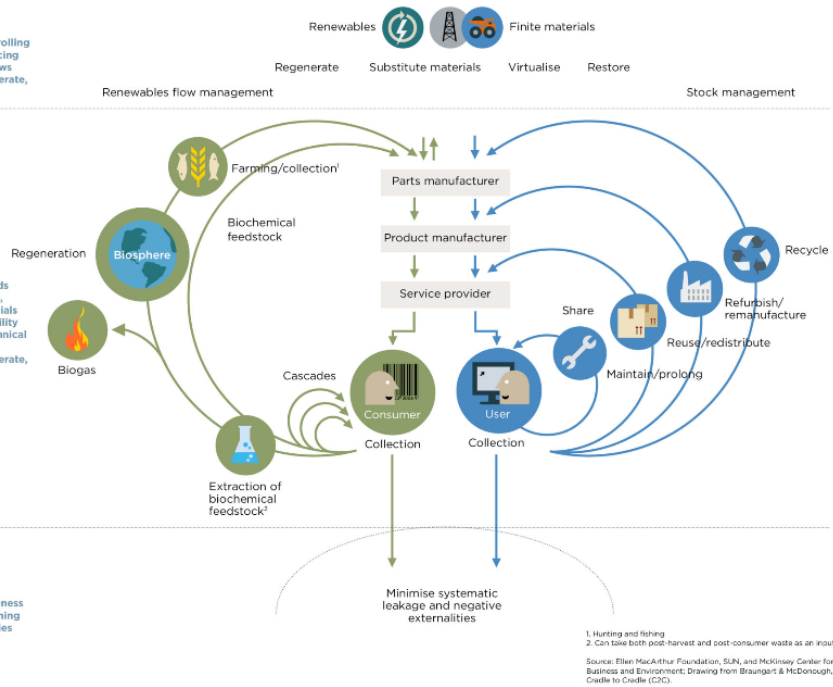


Figura 1. Diagrama de l'economia circular
Font: Ellen Macarthur Foundation [1]

No obstant això, va ser el químic Michael Braungart juntament amb l'arquitecte Bill McDonough els qui van desenvolupar el concepte *Cradle to Cradle* i el procés de certificació. Així, el *Cradle to Cradle* se centra en el disseny per l'efectivitat buscant un impacte positiu dels productes reduint els impactes negatius. Per aconseguir això, s'ha de començar a veure la brossa com un aliment, de tal forma que els materials puguin ser utilitzats perpètuament; també es aconsellable utilitzar preferentment fonts d'energia renovable i, la filosofia d'aquesta escola de pensament, també promou el respecte humà i el respecte als ecosistemes naturals.

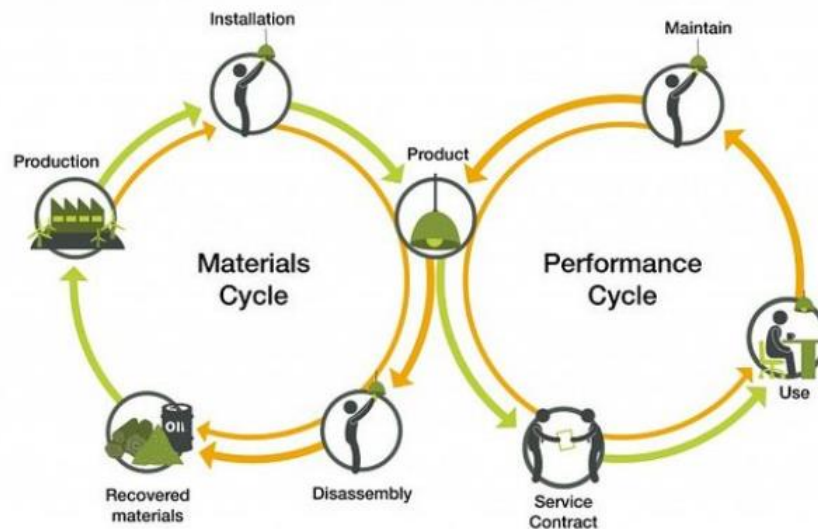


Figura 2. Diagrama del sistema Cradle to Cradle
Font: BAM Construct UK [27]

També existeix el concepte de biomimètica que, desenvolupada per Janine Benyus, cerca arribar a una disciplina que estudei les millors idees que es troben de forma natural a la natura i imitar el seu disseny i procediments per tal de resoldre els problemes humans. Per tant, el que busca es la innovació inspirada per la natura. Així, la biomimètica es basa en tres principis fonamentals:

- **La natura com a model:** per tal de copiar les formes i els processos naturals.
- **La natura com a mesura:** suposa la utilització d'una norma ecològica per jutjar la sostenibilitat de les nostres innovacions.
- **La natura com a mestra:** consisteix en deixar de veure la natura com una font de recursos i veure-la com una font de coneixements.

La biomimètica s'ha aplicat nombroses vegades per la innovació, com per exemple: la inspiració en les plantes marines per a un nou sistema de filtració de petroli [3] o basar-se en el sistema natural de refrigeració dels cactus en la construcció d'edificis al desert [4].

Un altre concepte relacionat amb l'economia circular és el del Capitalisme Natural [5], on es defineix el capital natural com les reserves d'actius naturals, incloent el sòl, l'aire, l'aigua i el conjunt d'éssers vius. Així, els interessos comercials i ambientals se superposen, reconeixent la relació existent entre la producció i ús del capital fet per l'home i els fluxos de capital natural. El Capitalisme Natural es basa en els següents principis:

- **Augmentar radicalment la productivitat dels recursos naturals:** amb canvis radicals en el disseny, producció i tecnologia, els recursos naturals es poden fer durar més d'allò que duren actualment. El resultat de l'estalvi en cost, inversió de capital i temps podrà ajudar a implementar els altres principis.

- **Canviar a materials i models de producció inspirats en la natura:** tal i com propugna el concepte *Cradle to Cradle*, suposa veure els residus com aliment, mitjançant sistemes de producció en bucles de cicle tancat on cada eixida torna l'ecosistema com a nutrient o es converteix en una entrada per un altre procés de fabricació i, tot això, sense causar cap dany a l'entorn.
- **Canviar a un model de negoci basat en l'ús de serveis:** trencant amb el model clàssic de compra de béns, el Capitalisme Natural defèn el sistema de lloguer de serveis per tal d'aprofitar al màxim la productivitat dels recursos.
- **Reinvertir en Capital Natural:** a mesura que les necessitats humanes s'expandeixen i la pressió sobre el capital natural augmenta, cada vegada és més necessari recuperar i regenerar els recursos naturals.

També es disposa del concepte Economia Blava (de l'anglès *Blue Economy*), creada pel belga Gunter Pauli que va redactar l'informe per al Club de Roma i que defèn una economia que *''Utilitzant els recursos disponibles en els sistemes en cascada, (...) els residus d'un producte es converteixen en l'entrada per crear un nou flux de caixa''* [6].

Finalment, focalitzant més en el sector industrial, existeix el concepte d'Ecologia Industrial. Aquest corrent busca l'estudi dels fluxos de materials i de l'energia a través de sistemes industrials centrant-se en les connexions entre els diferents actors del sistema industrial. L'objectiu principal és la creació d'un sistema en bucle tancat de forma que cap subproducte arribi a ser considerat com un residu, si no que es considere com una nova entrada per un altre procediment industrial i sempre atenent a les restriccions ecològiques i tenint en compte el seu impacte global des del començament per què es pareguen el més possible als sistemes naturals. L'ecologia industrial també se centra en el benestar social.

Arran aquestes aportacions, durant el segle passat i durant el començament del present segle s'arribà al concepte d'Economia Circular actual, presentat el 1992 a la Cimera de la Terra de Rio de Janeiro, organitzada per l'ONU.

2.2. Situació actual dels residus

En primer lloc, cal destacar que, segons es defineix a la llei 22/2011, del 28 de juliol, de residus i sols contaminats, un residu és *''qualsevol substància o objecte, el posseïdor del qual es desprengui o tingui la intenció o la obligació de desprendre-se'n''* [7]. En aquest treball s'estudiarà concretament els residus urbans que, segons la llei 22/2011, *''són residus urbans o municipals els generats als domicilis particulars, comerços, oficines i serveis, així com tots aquells que no tinguen la qualificació de perillosos i que per la seua natura o composició puguen assimilar-se als produïts als anteriors llocs o activitats. Tindran la consideració de RU els següents: residus procedents de la neteja de vies públiques, zones verdes, àrees recreatives i*

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

platges; animals domèstics morts, així com mobles, estris i vehicles abandonats; residus i escombraries procedents d'obres menors de construcció i reparació domiciliària" [7].

Encara que, com ja s'ha esmentat abans, cada vegada es tendeix a produir més residus degut a l'augment demogràfic i, també, a l'augment de la qualitat de vida, a la UE i, especialment al nostre territori, s'ha disminuït lleugerament la producció de brossa per dos motius claus: La conscienciació ecològica i, per altra banda, la crisi econòmica que ha afectat al consum de bens. Es pot veure aquesta variació al gràfic de la Figura 3.

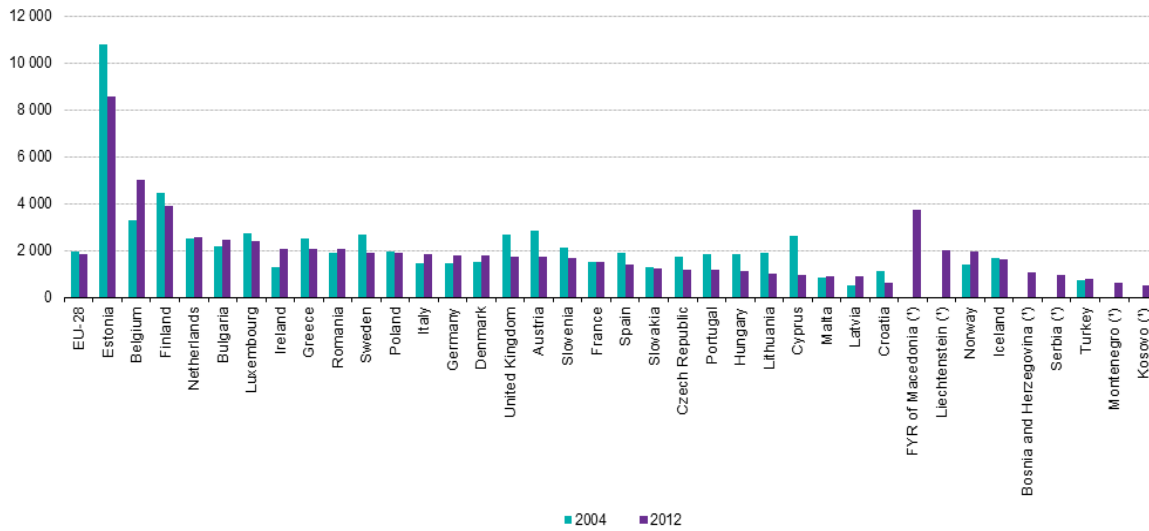


Figura 3. Variació de la producció de residus per països de la UE (excloent residus minerals) entre 2004 i 2012 en Kg/habitant.

Font: Eurostat [8]

Concretament, al 2012 i excloent els grans residus minerals, es van generar 922 milions de tones de residus i cada habitant de la UE va generar una mitjana d'1,8 tones. Açò suposa una reducció total d'un 3,7% des de 2004. Per habitant va suposar una reducció d'un 5,8%, degut a l'augment poblacional.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE
I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

Taula 1. Residus totals generats els anys 2010 i 2012, en milers de tones

Font: Eurostat [8]

	Non-hazardous waste	
	2010	2012
EU-28	2 362 840	2 414 380
Belgium	58 058	63 373
Bulgaria	153 843	147 845
Czech Republic	22 395	21 690
Denmark	14 993	15 139
Germany	343 614	346 038
Estonia	10 038	12 833
Ireland	17 835	12 036
Greece	70 141	72 031
Spain	134 528	115 448
France	343 543	333 429
Croatia	3 085	3 256
Italy	150 084	153 290
Cyprus	2 335	2 055
Latvia	1 430	2 214
Lithuania	5 473	5 542
Luxembourg	10 061	8 082
Hungary	16 195	15 610
Malta	1 328	1 423
Netherlands	115 899	118 753
Austria	33 410	32 982
Poland	157 966	161 641
Portugal	16 646	13 639
Romania	218 643	266 305
Slovenia	5 869	4 413
Slovakia	8 969	8 055
Finland	101 778	90 170
Sweden	115 117	153 614
United Kingdom	229 564	233 470
Iceland	503	513
Liechtenstein	304	463
Norway	7 670	9 364
Montenegro	:	383
FYR of Macedonia	2 178	7 794
Serbia	22 455	40 545
Turkey	780 197	1 009 238
Bosnia and Herzegovina	:	3 511
Kosovo	:	1 165

A la Taula 1 es pot observar que, a Espanya, es va reduir la producció de brossa des de 134.528 milers de tones, al 2010, fins a 115.448 milers de tones, al 2012. Açò suposa una reducció d'un 14,18% en la producció de brossa, una xifra considerablement bona considerant la importància que té hui en dia la reducció de residus. Malgrat aquestes reduccions dels últims anys, la quantitat de residus urbans que es generen continua sent considerable i cal buscar una solució.

2.3. Valorització energètica

La valorització energètica és l'aprofitament d'un residu, la finalitat del qual haguera sigut l'abocador, com a font energètica. D'aquesta forma es pot produir energia evitant l'explotació d'altres fonts energètiques.

En el present treball anem a valoritzar energèticament el rebuig d'una planta de triatge i compostatge mitjançant la incineració d'aquest. Segons el Reial Decret 653/2003, una "Instal·lació de incineració" és *"qualsevol unitat tècnica o equip, fix o mòbil, dedicat al tractament tèrmic de residus mitjançant les operacions de valorització energètica o eliminació, tal i com es defineixen en els apartats R1 y D10 de l'annex 1 de l'Ordre MAM/304/2002, amb o sense recuperació de la calor"* [9]. Així, es considera tractament tèrmic als processos d'incineració per oxidació, piròlisi, gasificació o el procés de plasma.

En aquest cas, anem a incinerar els residus utilitzant combustió, és a dir, incineració per combustió, on la reacció química es produeix per una oxidació tèrmica amb una quantitat d'oxigen superior a l'estequiomètric. La temperatura de combustió està al voltant dels 850°C-1100°C, depenent de la tipologia dels residus que volem incinerar. Com desenvoluparem més endavant, açò implica una estricta normativa tant estatal com comunitària pel fet de la gran quantitat d'emissions de gasos contaminants o d'efecte hivernacle que sorgeixen com a subproductes del procés de combustió, i que caldrà tindre en compte per tal de fer que la nostra instal·lació complisca la legalitat vigent. Entre altres, trobem CO₂, gasos àcids derivats de reaccions d'halògens, metalls, òxids de sofre i òxids de nitrogen, a banda d'altres substàncies no contaminants com el vapor d'aigua, O₂ o N₂. També es produiran residus sòlids com les cendres o els residus obtinguts del nostre sistema de depuració de gasos, en cas de què ens fora necessari instal·lar-hi una instal·lació d'aquest tipus per tal de complir la llei en matèria de contaminació.

Dins del procés d'incineració per combustió tenim diferents tipus de instal·lacions per tal d'aconseguir que aquest procediment arribe a produir-se correctament. En general, es pot trobar tres tipus de instal·lacions:

- La **incineració en forn rotatiu**, on el forn és un cilindre amb certa inclinació que va girant provocant d'aquesta forma el desplaçament dels residus per efecte de la gravetat. En aquests tipus de forns el material combustible roman dins 30-90 minuts i es pot utilitzar per qualsevol tipus de residu. Tanmateix, la instal·lació d'un forn d'aquestes característiques en la nostra planta com a forma de incineració planteja diversos problemes com la regulació de la temperatura, l'encariment de la maquinària per l'ús de materials més resistent a les diferents temperatures que pot assolir i, finalment, que aquest disseny de forn és difícilment escalable a diferents volums de RU, cosa que no ens convé res.

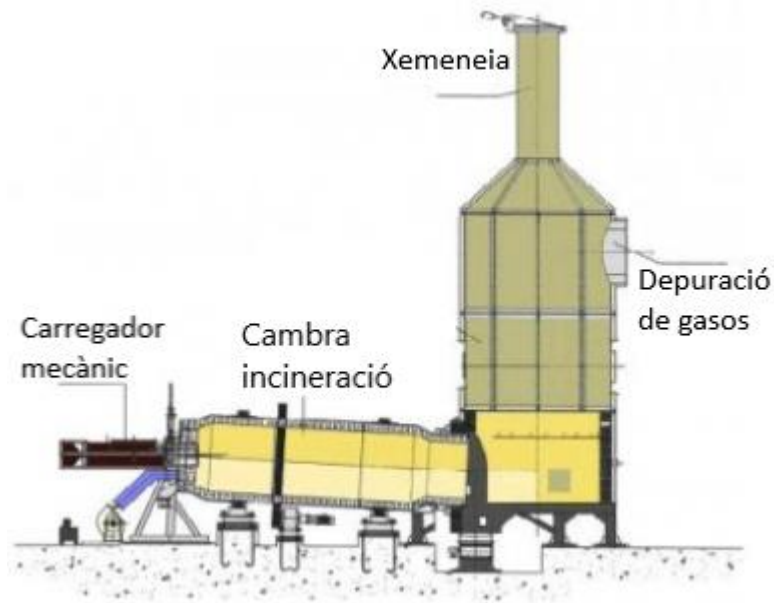


Figura 4. Esquema d'un forn rotatiu
Font: Elaboració pròpia

- La **incineració en forn de llit fluïditzat**, que requereix que el material combustible estiga sobre un llit i que siga fluïditzat fent entrar aire. Malgrat ser una tecnologia amb molts avantatges gràcies a que produeix una reacció més estable que la resta de processos d'incineració, no és aplicable a la nostra instal·lació degut a que no és aplicable als RU per la variació de grandària i variabilitat dels materials a incinerar.
- La **incineració en forn de graella** és, per tant, l'opció escollida. En aquest tipus de forns, els RU avancen per una graella degut a la seua inclinació i al seu moviment. Amb aquest tipus de forn aconseguim barrejar els residus i la seua homogeneïtzació, cosa que soluciona possibles problemes per la diferent granulometria i composició dels RU. Ací, els residus resideixen aproximadament una hora, obtenint-se com a residus: gasos de combustió, que s'hauran de tractar en cas que no complisquen les normes d'emissions de gasos contaminants; cendres i fins, que cauen entre les graelles durant el procés de incineració i que, si es vol, poden ser recirculats per acabar de completar la seua combustió; i, finalment, les escòries que acaben al final de la graella després del procés de combustió. Degut a que en aquest tipus de forns podem tractar una ampla varietat de RU sense importar la seua composició i/o granulometria, a més de què ens permet variar el cabal d'incineració, és la tècnica més usada actualment. Aproximadament, 9 de cada 10 instal·lacions d'incineració de RU utilitzen aquesta tecnologia [10].

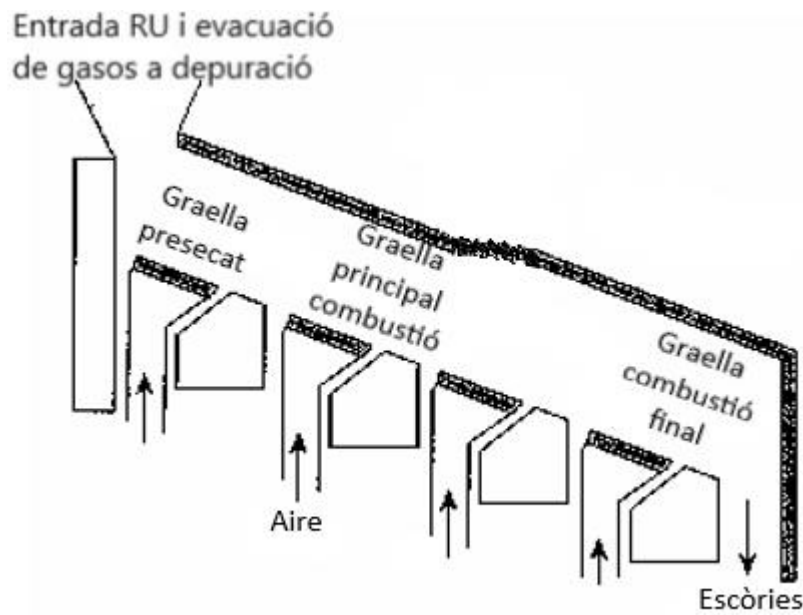


Figura 5. Esquema d'un forn de graella
Font: Elaboració pròpia

2.4. Context legal

El marc jurídic de la nostra instal·lació compren tant normatives europees, estatals com autonòmiques. Tanmateix, aquestes no disten molt ja que el marc jurídic estatal està transposat directament del marc jurídic europeu i, a més, les lleis autonòmiques no poden diferir de la normativa estatal, només poden afegir una sèrie de matisos dins de les seues competències per legislar.

2.4.1. Acords mundials

L'any 2012, en la Conferència de les Nacions Unides sobre el Desenvolupament Sostenible que es va celebrar en la ciutat brasilera de Rio de Janeiro, es va començar a gestar el document que acabaria sent conegut com a Objectius de Desenvolupaments Sostenibles (ODS) que substitueixen als Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM) que ja assoliren molts objectius en matèria de pobresa, igualtat, salut, malalties... Així aquests ODS busquen la millora de la societat a nivell mundial centrant-se en 17 àmbits en els que s'ha de treballar per tal d'assolir els objectius plantejats de cara a l'any 2030.

En concret, l'objectiu número 13 se centra en el canvi climàtic i busca "Adoptar mesures urgents per combatre el canvi climàtic i els seus efectes"[15]. Les tres metes que s'han plantejat pel 2030 són:

- Enfortir la resiliència i la capacitat d'adaptació dels riscos relacionats amb el clima i els desastres naturals en tots els països.
- Incorporar mesures relatives al canvi climàtic en les polítiques, estratègies i plans nacionals.
- Millorar l'educació, la sensibilització i la capacitat humana i institucional en relació amb la mitigació del canvi climàtic, l'adaptació a ell, la reducció dels seus efectes i l'alerta el més aviat possible.

2.4.2. Legislació europea

A nivell europeu destaca la directiva 2008/98/CE del Parlament Europeu sobre residus, de la qual ja hem parlat. Aquesta directiva es molt completa en matèria de residus i tracta aquesta problemàtica d'una forma global marcant la direcció en la que s'ha de treballar en matèria de residus a tota la Unió Europea en els pròxims anys. Així, aquesta directiva es recolza en sis pilars fonamentals:

- La prevenció en la producció de residus com a forma de reduir-ne la seua generació. S'insta als estats membres a que creen plans nacionals per tal de previndre la generació de residus.
- Fixa un objectiu de reciclatge més ambiciós per als estats membres per tal de què cara al 2020 tots els estats assolisquen una taxa de reciclatge del 50% a nivell domèstic.
- Fixa els límits d'eficiència energètica a partir de la qual una operació d'incineració de RU es pot considerar una operació de valorització energètica.
- Estableix un ordre de preferència en la gestió de residus que és el següent: prevenció (tal i com ja s'havia esmentat abans), preparació per a la reutilització, reciclatge, valorització i, finalment, l'eliminació com a últim recurs.



Figura 6. Jerarquia de preferència en la gestió de residus
Font: Elaboració pròpia

- Determina què és un residu i què no ho és.
- Incideix en la responsabilitat del productor.

Així, concretament per la nostra instal·lació l'objectiu de la qual és la valorització energètica, la directiva europea 2008/98/CE marca que es pot considerar valorització sempre que l'objectiu siga utilitzar els residus com substituïts d'altres materials els quals es tractarien tèrmicament d'igual forma. Però introdueix com a excepció la consideració de valorització energètica la utilització de RU com a material combustible sempre i quan l'eficiència d'aquestes instal·lacions siga superior a 0,65 (0,60 en cas d'instal·lacions que ja estaven en funcionament abans de l'1 de gener del 2009) aplicant la fórmula d'eficiència energètica indicada en la pròpia directiva.

$$\text{Eficiència energètica} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \times (E_w + E_f)} \quad (1)$$

On:

· E_p és l'energia anual produïda com calor o electricitat, que es calcula multiplicant l'energia elèctrica per 2,6 més l'energia calorífica produïda per usos comercials per 1,1 (GJ/any).

· E_f és l'aportació anual d'energia al sistema a partir dels combustibles que contribueixen a la producció de vapor (GJ/any).

· E_w és l'energia anual que contenen els residus tractats calculada mitjançant el poder calorífic net dels residus (GJ/any).

· E_i és l'energia anual importada excloent-hi E_w i E_f .

·0,97 és un factor que representa les pèrdues d'energia degudes a cendres i radiació.
[11]

També destaca la Directiva 2000/76/CE del Parlament Europeu, la qual tracta directament sobre el procés d'incineració de residus. Aquesta directiva posa el focus en la problemàtica mediambiental de la incineració i intenta posar un límit als efectes negatius d'aquesta sobre el medi ambient com pot ser la seua influència en la contaminació de l'aire, el sòl i l'aigua. Sobretot se centra en la incineració de RU i marca que per a què es considere una operació de valorització energètica la finalitat deu ser la utilització d'aquests RU com a substituïts d'un altre material preservant els nostres recursos naturals. Per tant, queden excloses les instal·lacions d'eliminació ja que, encara que es puga recuperar el calor obtingut, açò s'entén com un efecte secundari d'una operació la finalitat de la qual és l'eliminació del residu.

Els límits que marca la Directiva i les tècniques de mesura es detallen a les Taules 2 i 3:

Taula 2. Tècniques de mostreig dels contaminants en instal·lacions d'incineració de residus

Font: DOUE [28]

Técnicas de medición	
1. Las mediciones para determinar las concentraciones de sustancias contaminantes de la atmósfera y del agua se llevarán a cabo de manera representativa.	
2. El muestreo y análisis de todos los contaminantes, entre ellos las dioxinas y los furanos, así como los métodos de medición de referencia para calibrar los sistemas automáticos de medición, se realizarán con arreglo a las normas CEN. Si todavía no estuvieran disponibles las normas CEN, se aplicarán las normas ISO, las normas nacionales o internacionales que garanticen la obtención de datos de calidad científica equivalente.	
3. Los valores de los intervalos de confianza del 95 % de cualquier medición, determinados en los valores límite de emisión diarios, no superarán los siguientes porcentajes de los valores límite de emisión:	
Monóxido de carbono:	10 %
Dióxido de azufre:	20 %
Dióxido de nitrógeno:	20 %
Partículas totales:	30 %
Carbono orgánico total:	30 %
Cloruro de hidrógeno:	40 %
Fluoruro de hidrógeno:	40 %

Taula 3. Valores límites d'emissió de contaminants a l'atmosfera en instal·lacions d'incineració de residus

Font: DOUE [28]

1.1. Valores límite de emisión medios diarios para las siguientes sustancias contaminantes (mg/Nm ³)	
Partículas totales	10
Sustancias orgánicas en estado gaseoso y de vapor expresadas en carbono orgánico total (COT)	10
Cloruro de hidrógeno (HCl)	10
Fluoruro de hidrógeno (HF)	1
Dióxido de azufre (SO ₂)	50
Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂), expresado como NO ₂ , para instalaciones de incineración de residuos existentes con capacidad nominal superior a 6 toneladas por hora o para instalaciones de incineración de residuos nuevas	200
Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂), expresado como NO ₂ , para instalaciones de incineración de residuos existentes con capacidad nominal no superior a 6 toneladas por hora	400

En cas que haguem que depurar els gasos d'escapament per excés de contaminants, també haurem de controlar la contaminació de les aigües residuals del sistema de depuració. Els valors màxims es detallen a la Taula 4.

Taula 4. Valors límits d'emissió per a abocaments d'aigües residuals procedents de la depuració de gasos d'escapament en instal·lacions d'incineració de residus

Font: DOUE [28]

Valores límite de emisión para vertidos de aguas residuales procedentes de la depuración de gases de escape		
Sustancias contaminantes	Valores límite de emisión expresados en concentraciones en masa para muestras no filtradas	
	95 % 30 mg/l	100 % 45 mg/l
1. Total de sólidos en suspensión tal como se definen en la Directiva 91/271/CEE		
2. Mercurio y sus compuestos, expresados en mercurio (Hg)	0,03 mg/l	
3. Cadmio y sus compuestos, expresados en cadmio (Cd)	0,05 mg/l	
4. Talio y sus compuestos, expresados en talio (Tl)	0,05 mg/l	
5. Arsénico y sus compuestos, expresados en arsénico (As)	0,15 mg/l	
6. Plomo y sus compuestos, expresados en plomo (Pb)	0,2 mg/l	
7. Cromo y sus compuestos, expresados en cromo (Cr)	0,5 mg/l	
8. Cobre y sus compuestos, expresados en cobre (Cu)	0,5 mg/l	
9. Níquel y sus compuestos, expresados en níquel (Ni)	0,5 mg/l	
10. Zinc y sus compuestos, expresados en Zinc (Zn)	1,5 mg/l	
11. Dioxinas y furanos, definidos como la suma de los distintos furanos y dioxinas evaluados con arreglo al anexo I	0,3 mg/l	

2.4.3. Legislació estatal

A nivell estatal destaca el Reial Decret 653/2003, sobre la incineració de residus. Aquest Reial Decret és una transposició de la Directiva europea 2000/76/CE de la que ja hem parlat. No obstant això, incorpora certs matisos per fer-la més completa i estricta. Es poden destacar les següents mesures:

- Estableix condicions més exigents en l'entrega i la recepció dels residus en les incineradores.
- Exigeix més requisits tècnics a les instal·lacions per construir-les i fer-les funcionar.
- Unifica els valors límits per als residus que s'incineren o coincineren.
- És més restrictiva en quant a les emissions a l'atmosfera dels diferents contaminants.

La Llei 16/2002 de prevenció i control integrats de la contaminació (IPPC) es tracta d'una transposició directa de la Directiva europea 96/61/CE i que com exposa: "Aquesta llei té per objecte evitar o, quan açò no siga possible, reduir i controlar la contaminació de l'atmosfera, de l'aigua i del sòl, mitjançant l'establiment d'un sistema de prevenció i control

integrats de la contaminació, amb la finalitat d'assolir una elevada protecció del medi ambient en el seu conjunt.” [12]

El Reial Decret 1481/2001 regula l'eliminació de residus mitjançant el seu dipòsit en abocadors. Aquest Reial Decret és una transposició de la Directiva 1999/31/CE i el seu objectiu és *“Establir, mitjançant rigorosos requisits tècnics i operatius sobre residus i abocaments, mesures, procediments i orientacions per impedir o reduir, en la mesura del possible, els efectes negatius al medi ambient de l'abocament de residus, en particular la contaminació de les aigües superficials, les aigües subterrànies, el sòl i l'aire, i del medi ambient mundial, inclòs l'efecte d'hivernacle, així com qualsevol risc derivat per la salut humana, durant tot el cicle de vida de l'abocador”* [13]. Aquest Reial Decret planteja l'obligació d'un tractament previ de la fracció restant, abans del seu dipòsit en abocadors i, a més, classifica els abocadors en tres categories diferents segons els residus que accepten. Això mostra com la problemàtica dels residus i els abocadors s'ha convertit en un problema cabdal de la política mediambiental al nostre territori.

Finalment, cal parlar de la llei 10/1998 de residus, que és transposició directa de la Directiva 91/156/CEE a l'ordenament jurídic espanyol. Aquesta Llei obliga als estats membres a fer una planificació estatal de la gestió de residus i, també, a fixar objectius de reducció, reutilització, reciclatge i valorització de residus. A més, també inclou mesures que han de prendre els ajuntaments, més enllà de l'arreglada de residus, com:

- La possibilitat d'elaborar plans de gestió locals.
- L'eliminació i el tractament de residus en tots els municipis.
- L'arreglada selectiva de residus urbans (RU) en municipis de més de 5000 habitants, amb l'objectiu de fer més fàcil el reciclatge i la valorització d'aquests.

2.4.4. Legislació valenciana

La normativa mediambiental a l'àmbit autonòmic és molt important ja que les autonomies arreglaven nombroses competències en aquest àmbit per tal de desenvolupar legislació pròpia. La Conselleria d'agricultura, medi ambient, canvi climàtic i desenvolupament rural, és l'encarregada de desenvolupar totes les normatives, estratègies i polítiques mediambientals al nostre territori.

D'ençà uns anys, la política mediambiental ha esdevingut un tema cabdal dins de la política valenciana. A l'Estratègia Valenciana davant el Canvi Climàtic 2013-2020 es numeren un bon grapat de mesures per evitar el canvi climàtic on l'objectiu principal a combatre són els residus.

La mesura M041 promou *“fomentar l'ús de residus orgànics generats en activitats externes del sector agropecuari (...), per mitjà de coordinació amb els dits sectors, per què vetlen per què les característiques d'aquests residus es mantinguen a un nivell de qualitat adequat per al seu ús agrícola i evitar d'aquesta manera contaminacions innecessàries”* [14]. Allò que busca aquesta mesura és la reducció d'aquest tipus de residus i la seua gestió inadequada ja que poden ser potencials amenaces per a la contaminació directa del sòl, l'aigua

i l'aire. Segons la mesura, *“els beneficis d'una adequada gestió integral dels residus en relació amb el canvi climàtic són: reduir les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle en abocadors, reduir l'extracció i transport de matèries primeres, reduir la utilització de combustibles fòssils i reduir i evitar la fabricació de certs productes”*[14].

També és important la mesura M043 que busca *“Fomentar el respecte a la jerarquia de residus industrials a fi d'augmentar per aquest ordre de preferència els percentatges de residus reutilitzats, reciclats, destinats a valoració material i valorats energèticament, enfront dels eliminats en abocador”* [14]. Com es pot comprovar, en totes les normatives de qualsevol àmbit sempre s'incideix en la mateixa jerarquia de tractaments de RU.

De fet, per tal d'aconseguir reduir la producció de plàstics es prohibiran els plàstics d'usar i tirar al País Valencià a partir del 2020, com per exemple els coberts de plàstic, les càpsules de cafè, les canyetes per beure, etc. També s'està treballant per implantar el Sistema de Dipòsit, Devolució i Retornament (SDDR) en un futur, cosa que milloraria considerablement la gestió dels residus a les plantes de triatge i compostatge com la nostra, ja que els residus ja arribarien triats d'origen, millorant el rendiment de triatge del nostre sistema de tractament dels residus.

2.5. Situació actual de la valorització energètica

A Europa, a data del 2015, hi havia un total de 507 incineradores de RU repartides per 22 països [16]. Els dos països més capdavanters en la implantació d'aquesta tecnologia són França amb 126 incineradores que tracten 14,7 milions de tones a l'any i Alemanya amb 121 incineradores que tracten 26 milions de tones a l'any. A Espanya tenim 12 incineradores i tractem 2,9 milions de tones a l'any sent, dels països més grans d'Europa, el que menys penetració d'aquesta tecnologia té. Amb el volum d'incineració que tenim a Espanya, l'any 2007 es va produir 1.606.191 MWh/any d'electricitat, mentre que a països com Alemanya es produïren 6.300.000 MWh/any d'electricitat i 13.700.000 MWh/any de calor ja que, a diferència d'Espanya, en la major part dels països europeus on hi ha plantes d'incineració, aquestes s'aprofiten tant per la producció d'energia com per la producció de calor com es pot observar en la figura 7.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA



Figura 8. Mapa de la UE amb les dades de la situació de la valorització energètica per país (En blau el nombre d'incineradores i en taronja la massa tractada en milions de tones)
Font: CEWEP (Confederació Europea de plantes de valorització energètica) [16]

Cal destacar que, com ja hem esmentat abans, la valorització energètica no es lliura de produir residus ja que, degut al procés de combustió es produeixen una sèrie d'escòries i cendres que, aquesta vegada sí, s'hauran de col·locar dins d'un abocador. En el cas d'Espanya, el 2007 es produïren 358.419 tones d'escòries i cendres, a més de 94.420 tones de cendres que s'obtingueren per la filtració dels gasos de combustió en el seu tractament de depuració [16].

Com es pot observar en la Figura 9, Espanya encara té per davant molt a desenvolupar en quant a valorització energètica per tal d'arribar a les taxes d'altres països europeus del seu entorn com Alemanya, Bèlgica o Dinamarca, entre d'altres.

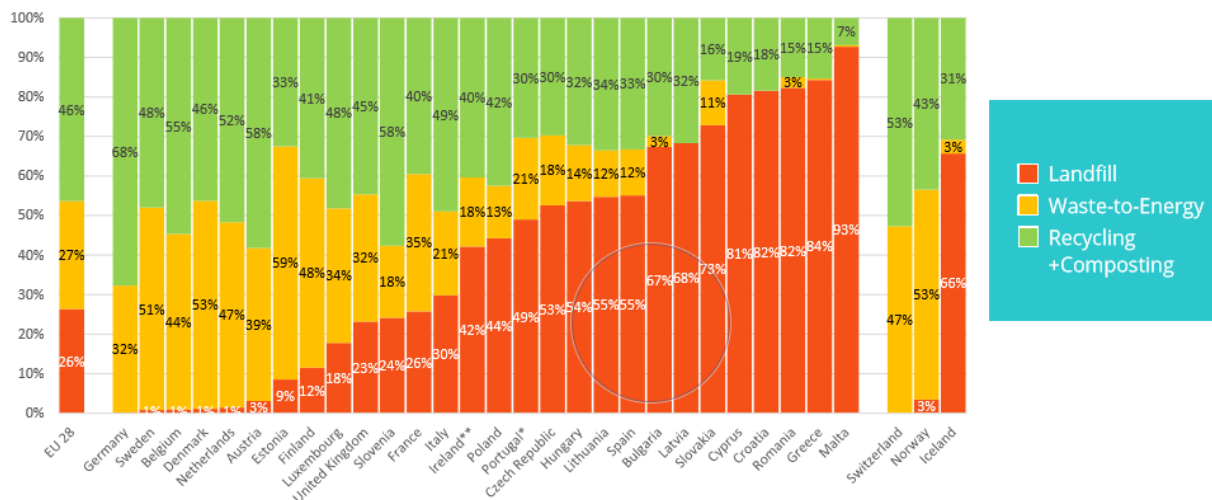


Figura 9. Percentatge per país de quantitat de residus tractats amb cada opció de gestió: abocador (taronja), valorització energètica (groc) i reciclatge/compostatge (verd)
 Font: CEWEP (Confederació Europea de plantes de valorització energètica) [16]

2.6. Funcionament d'una planta de triatge i compostatge

Hi ha diversos tipus de plantes de tractament de RU però aquest treball se centra en una planta de triatge i compostatge. El funcionament d'aquesta planta és molt senzill. Primer de tot, la totalitat dels residus arriben a la zona de descàrrega i es depositen en les fosses de recepció des d'on es van abocant a les línies de tractament on passaran per una sèrie de processos físics per tal de separar els diferents residus segons la seua composició per tal que molts d'aquests es puguin, finalment, reciclar; açò és el procés de triatge.

La part de compostatge és aquella en què convertim la fracció orgànica separada en compost per tal de donar-li una aplicació als camps i que així es puga reciclar en comptes d'acabar en els abocadors.

A la figura 10 es mostra de forma esquemàtica el que s'acaba d'explicar.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

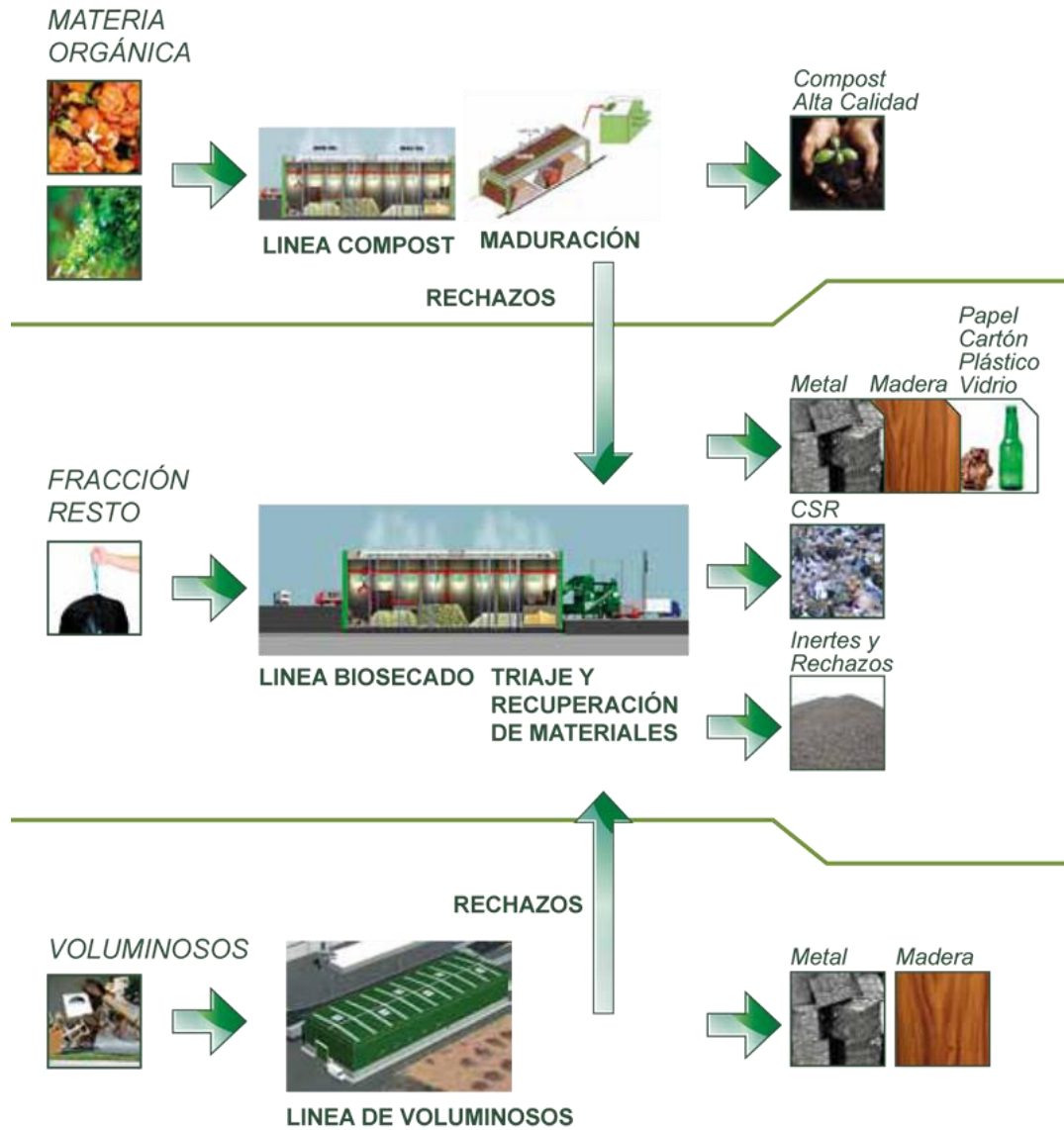


Figura 10. Diagrama dels fluxos de matèria en una planta de triatge i compostatge
Font: Bionord [17]

Per tant, en la planta del present estudi, només es plantejaria la crema del rebutjos que actualment no tenen cap aplicació pel reciclatge i, per tant, anirien a l'abocador. D'aquesta manera es compliria la jerarquia de gestió de residus indicada a la legislació, ja que s'efectuaria una valorització energètica d'aquests rebutjos.

3. Localització de l'estudi

3.1. Localització de la planta

L'objectiu d'aquest treball és la instal·lació d'una planta incineradora de RU provinents d'una planta de triatge i compostatge amb la finalitat de produir energia la qual es destinaria a l'autoconsum. Per tant, aquesta planta es deuria construir al costat d'una instal·lació d'aquest tipus. Concretament, se situarà en el complex de valorització de residus urbans "Los Hornillos" al terme municipal de Quart de Poblet gestionat per l'Entitat Metropolitana per al Tractament de Residus (EMTRE).

L'EMTRE és l'organisme que s'encarrega de gestionar els residus urbans de València ciutat i els pobles dels voltants.

Aquesta planta es va posar en funcionament de forma definitiva en gener del 2011 amb una potència instal·lada de 9 GW/h i una capacitat de compostatge de 205.000 t/any de fracció orgànica però, en total, pot tractar 400.000 tones a l'any de RU. Totes les naus de les que consta la instal·lació disposen de captació i tractament d'aire en biofiltres per tal d'evitar l'emissió d'olors de fem [18].

En la Figura 11 es mostra la localització de la planta i a la Figura 12 es pot observar la vista aèria d'aquesta.

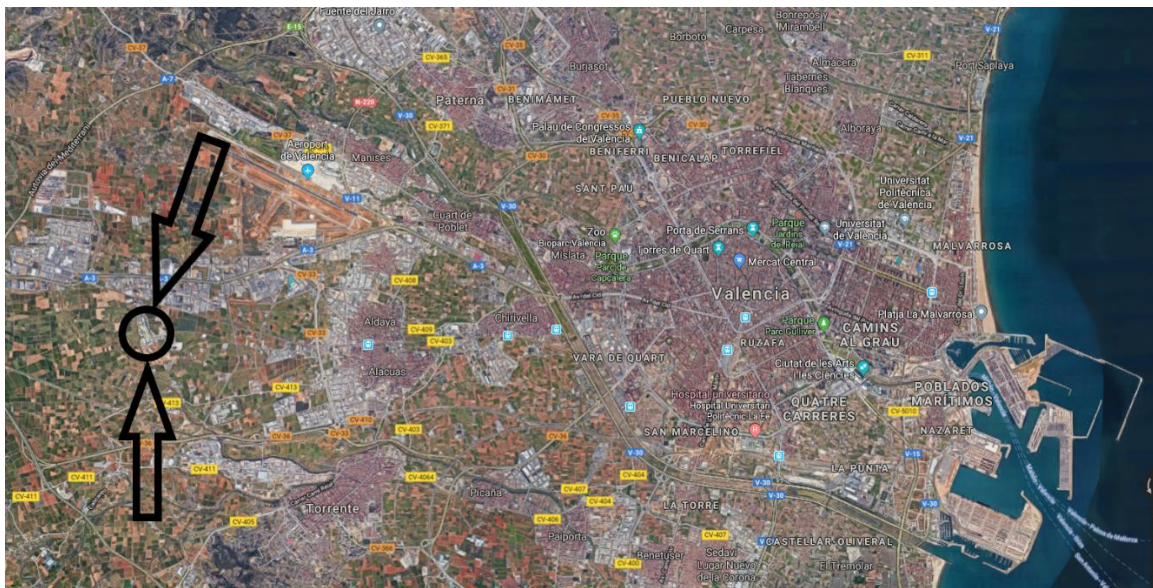


Figura 11. Localització de la planta de triatge i compostatge objecte d'aquest treball
Font: Google Maps [29]

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA



*Figura 12. Vista aèria de la planta de triatge i compostatge objecte d'aquest treball
Font: Google Maps [29]*

Com es pot observar a la fotografia de la Figura 12, la part sud de la planta correspon amb el final dels fluxos de tractament de RU i, justament al costat hi ha un espai suficient per la construcció de la planta incineradora i, en cas que siga necessari, la instal·lació de depuració dels gasos de combustió. A la Figura 13 es mostra una imatge ampliada del terreny on s'ubicarà la instal·lació de valorització energètica que es pretén dissenyar.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA



*Figura 13. Terreny candidat a albergar la instal·lació de valorització energètica
Font: Google Maps [29]*

A la Figura 14 es mostra l'aspecte aproximat que tindria la instal·lació de valorització energètica que es vol projectar en aquest treball.



*Figura 14. Recreació de la planta de valorització energètica a dissenyar
Font: Google Maps i elaboració pròpia [29]*

3.2. Característiques de la planta

La planta de triatge i compostatge de Quart de Poblet es compon de les següents parts:

- **Recepció de RU:** per tal de tindre un control exhaustiu dels fluxos d'entrada i d'eixida a la planta, es disposa de 4 bàscules que ajuden a conèixer les tones de RU que es tracten. Al principi del procés de reparació, la planta disposa d'una platja on els camions descarreguen els residus i que, en general, ha de tindre capacitat per acumular residus per alimentar la planta durant 48 hores sense cap entrada addicional de RU.



Figura 15. Polp oleohidràulic d'alimentació

Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]

- **L'etapa de pretractaments** on un polp oleohidràulic de 8m³ de capacitat de càrrega agafa els residus de la platja i els introdueix a l'alimentador principal, on es fan els primers triatges manuals llevat els grans voluminosos, i acabant tot allò que no es tria dins del garbell rotatiu on els RU se separen en tres fraccions: grossa, fina i intermèdia. La fracció fina conté, principalment, matèria orgànica i inerts que, mitjançant una sèrie de processos automàtics, es podrà separar correctament d'altres matèries no compostables per poder aprofitar la matèria orgànica per compostar. La fracció intermèdia és, normalment, la que conté un major nombre d'envasos de plàstic, bricks, llaunes, etc; per tant, és la fracció més interessant de cara al reciclatge. La fracció grossa és aquella que no separa el garbell rotatiu i que, per tant, passa a un

procés de triatge manual per a que, d'aquesta forma, es puguin triar metalls, cartrons i plàstics de molta grandària.



Figura 16. Garbell rotatiu

Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]

- **L'etapa de triatge:** com ja s'ha avançat, després de separar els RU en les fraccions grossa, intermèdia i fina, toca l'etapa de triatge en la que els RU passen per una sèrie de processos automàtics que els separen pels seus components. Aquests processos són els següents:
 - a) *Separador magnètic:* separen els metalls ferromagnètics de la resta de RU. És important per tal de poder llevar els xicotets metalls de la fracció fina. En la Figura 17 es pot veure un exemple d'un separador magnètic.



Figura 17. Separador magnètic

Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]

- b) *Separador òptic*: diferencien fins a 3 fraccions diferents de plàstics i materials compostos; per tant, normalment es posen en cascada per tal de separar més de 3 fraccions. Aquests separadors funcionen mitjançant un escàner que determina la posició i composició d'un determinat residu i controlen el temps que tardarà en arribar al final de la cinta, on unes vàlvules pneumàtiques s'encarreguen de separar-los del mix, segons la seua composició. En la Figura 18 es pot veure un exemple d'un separador òptic.



Figura 18. Separador òptic

Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]

- c) *Separador balístic*: la seua funció és separar els residus segons la seua densitat, grandària i morfologia. En aquest cas separa entre fracció fina, planar i rodant, com es pot observar en la Figura 19.



Figura 19. Separador balístic

Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]

- d) *Separador de Foucault* (inducció): és un separador que funciona sota el principi dels corrents de Foucault. Serveix per tal de separar els metalls no ferromagnètics gràcies al tambor inductor. Els metalls no ferromagnètics, en entrar en contacte amb el camp d'inducció, ixen repel·lits separant-se de la resta dels residus i els materials ferromagnètics són atrets cap al tambor. Així, els residus se separen en materials fèrrics, no fèrrics i resta de materials. En la Figura 20 es pot veure un exemple de separador de Foucault.



Figura 20. Separador de Foucault (Inducció)

Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]

- e) *Separador pneumàtic*: és l'encarregat d'absorbir els materials més lleugers, que generalment són els films com es pot veure en la Figura 21. Així s'aconsegueix, també, augmentar el rendiment de la resta de processos abans esmentats.



Figura 21. Separador pneumàtic

Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]

- **Emmagatzematge de productes recuperats:** els materials recuperats a les línies de triatge, una vegada embalats com es mostra en la Figura 22, són emmagatzemats en una nau exterior per a la seua posterior expedició.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA



*Figura 22. Emmagatzematge en piles premsades de les fraccions separades
Font: Plantes de selecció d'envasos lleugers (Ecoembes) [20]*

- **Tractament de la fracció orgànica:** en ser una planta de triatge i compostatge, la fracció orgànica es recupera per tal de produir compost per a l'activitat agrària.



*Figura 23. Planta de compostatge dels residus orgànics
Font: Residuos Profesional [30]*

3.3. Diagrama de flux de la planta

En la Figura 24 es mostra el diagrama de flux de la planta de triatge i compostatge de Quart de Poblet.

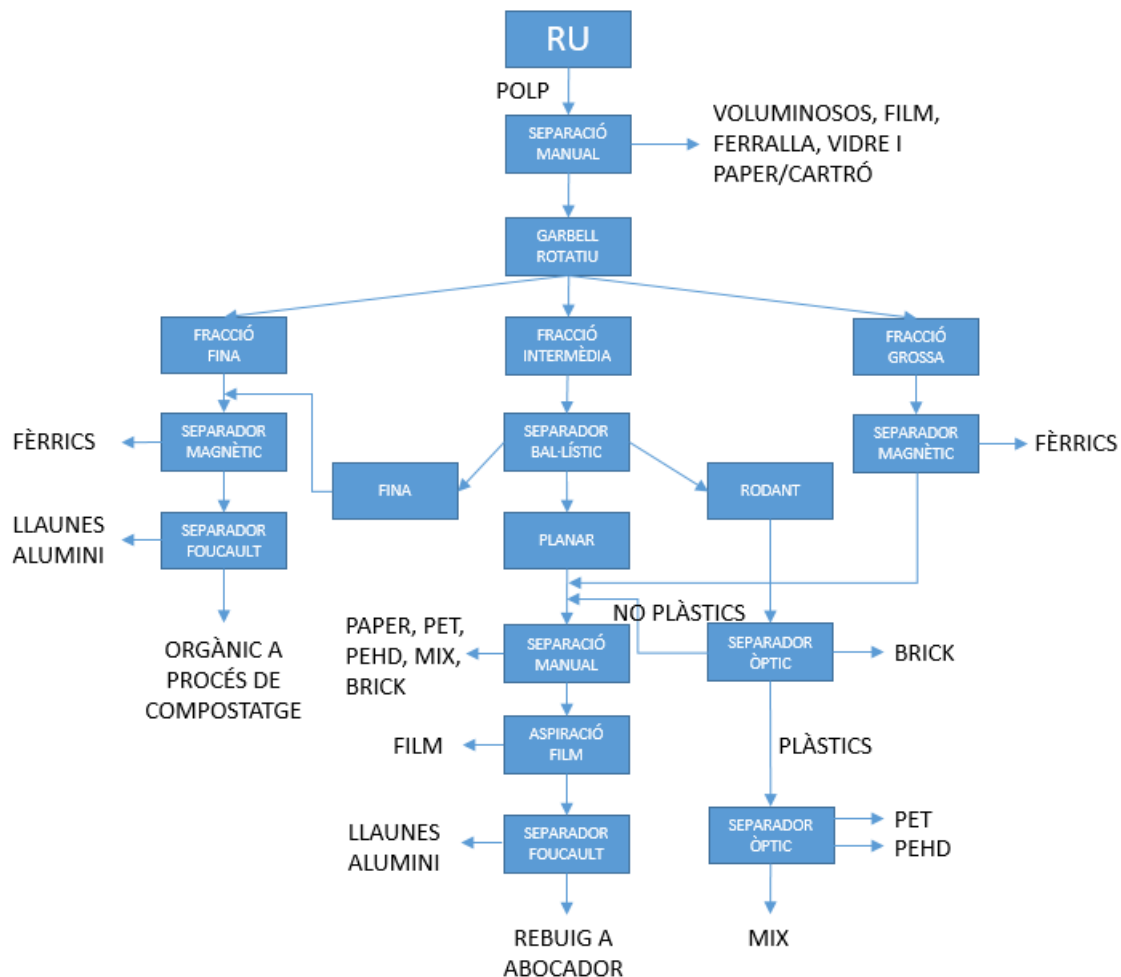


Figura 24. Diagrama de flux de la planta de triatge i compostatge objecte d'aquest treball
Font: El·laboració pròpia

La fracció orgànica separada entra a procés de compostatge en la mateixa planta. La resta de fraccions separades es reciclen en plantes externes. Per últim, la fracció rebuig es destina actualment a abocador; concretament es porta a l'abocador ubicat al municipi de Dos Aguas (València).

Aquesta fracció rebuig és la que es vol sotmetre a valorització energètica.

3.4. Tipologia dels RU tractats

Per a aquest estudi se suposarà que la composició dels RU que entren a la planta de triatge i compostatge és la corresponent a la composició típica de la fracció tot en u. Aquesta composició es mostra a la Figura 25.

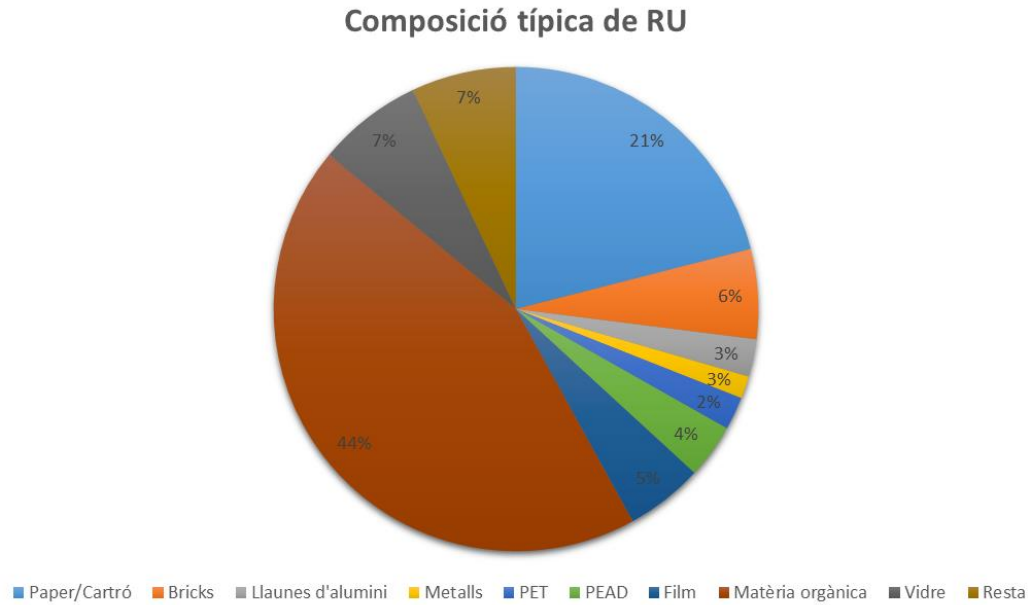


Figura 25. Composició típica dels RU tractats
Font: "GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS" [19]

Així, si la capacitat de tractament que té aquesta planta és de 400.000 tones/any [18], d'acord amb les dades de la Figura 25, els residus que entrarien per categoria són els calculats a la Taula 5.

Taula 5. Entrada de RU (tones/any) a la planta de triatge i compostatge objecte d'aquest treball.
Font: Elaboració pròpia

	Entrada residus (tones/any)	
Paper/Cartró	21,00%	84000
Bricks	6,00%	24000
Llaunes d'alumini	2,50%	10000
Metalls	1,50%	6000
PET	2,20%	8800
PEAD	3,63%	14520
Film	5,17%	20680
Matèria orgànica	44,00%	176000
Vidre	7,00%	28000
Resta	7,00%	28000
Entrada total	100%	400000

D'ací, l'única fracció que es pot aprofitar per a la seua valorització energètica és el plàstic ja que la matèria orgànica i el paper/cartró es poden compostar en la planta i el vidre i el metall no es poden sotmetre a processos d'incineració.

3.5. Rendiments dels processos de separació

Tal i com s'ha mostrat abans, els RU de la planta passen per una sèrie de processos de separació. Aquests processos tenen un rendiment determinat que depenen de les diferents màquines, composició dels residus, cabal de residus, capacitat humana per seleccionar manualment, etc. De forma aproximada, aquests rendiments de separació són els indicats a la Taula 6.

Aplicant aquests rendiments de separació es pot conèixer la composició de cadascun dels corrents de la planta de triatge i compostatge, en especial la del rebuig que es vol destinar a valorització energètica.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE
I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

Taula 6. Rendiments típics dels diferents processos de separació (tant per u)

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades trobades a Tchobanoglous, G., Theisen, H. I Vigil, S. A. (1998) "Gestió Integral de Residus sòlids"

Fracció dels RU	Garbell rotatiu			Separador balístic			Separació manual	Separador magnètic	Separador òptic	Separador Foucault	Separador pneumàtic
	Factor recuperació fracció grossa	Factor recuperació fracció intermèdia	Factor recuperació fracció planar	Factor recuperació fracció rodant	Factor recuperació fracció fina						
Paper/Cartró	0,1	0,75	0,15	0,95	0	0,05	0,9	0	0	0	0
Bricks	0,05	0,3	0,65	0,1	0,9	0	0,95	0	0,9	0	0
Llaunes d'alumini	0,05	0,05	0,9	0	1	0	0,9	0	0	0,95	0
Metalls	0,15	0,05	0,8	0,05	0,05	0,9	0	1	0	0	0
PET	0,05	0,25	0,7	0,1	0,9	0	0	0	0,9	0	0
PEAD	0,05	0,25	0,7	0,1	0,9	0	0	0	0,9	0	0
Film	0,1	0,8	0,1	1	0	0	0,2	0	0	0	0,9
Matèria orgànica	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Vidre	0,9	0	0,1	0	0	1	0,05	0	0	0	0
Resta	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

4. Càlcul de l'energia produïda en el procés de valorització

4.1. Càlcul de la quantitat i composició del rebuig

A partir dels rendiments de la Taula 6 i de l'esquema dels fluxos de residus de la planta (Figura 24) podem calcular on acaba cadascuna de les fraccions de entrada. Així, els residus que s'obtidrien serien els calculats a la Taula 7. La nomenclatura utilitzada per a cada corrent es mostra a la Figura 26.

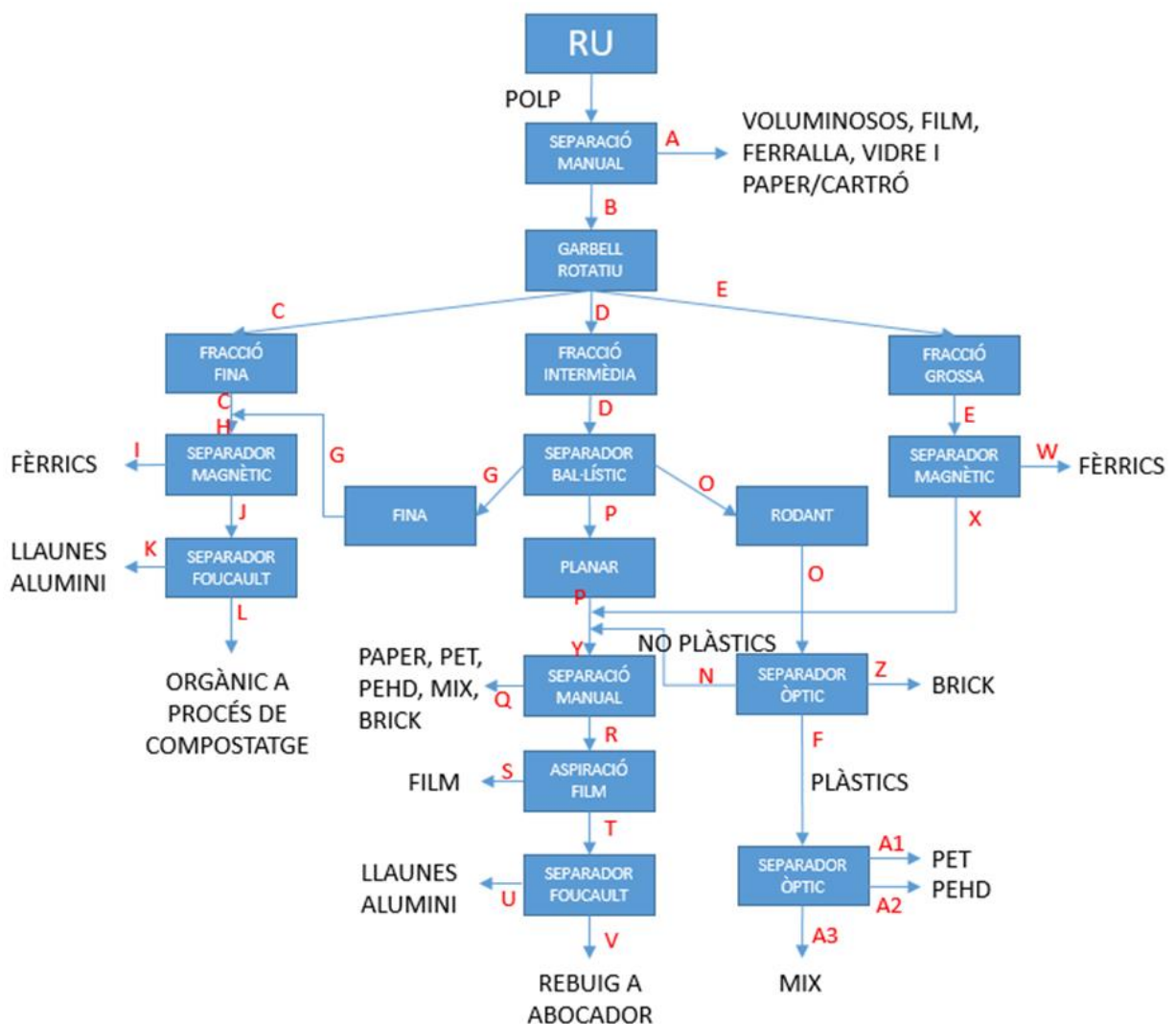


Figura 26. Nomenclatura utilitzada per a cadascun dels corrents de la planta de triatge i compostatge.
Font: Elaboració pròpia

Bryan Germán Martín
 DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE
 I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

Taula 7. Càlcul del rebuig de la planta de triatge i compostatge (tones/any)
 Font: Elaboració pròpia

Entrada residus	A	B (Entrada Garbell)	C (Fracció Fina)	D (Fracció intermèdia)	E (Fracció grossa)	G	H	I (Fèrrics)	J	K (Llaunes alumini)	L (Orgànic)	O (Fracció rodant)	P (Fracció planar)	Q (2ª separació manual)
Paper/Cartró	84000	8400	840	1260	6300	63	903	0	903	0	903	0	1197	6747,3
Bricks	24000	1200	60	780	360	0	60	0	60	0	60	702	78	482,79
Llaunes d'alumini	10000	1000	50	900	50	0	50	0	50	47,5	2,5	900	0	855
Metalls	6000	0	6000	900	4800	4320	5220	5220	0	0	0	240	240	0
PET	8800	0	8800	440	2200	0	440	0	440	0	440	5544	616	0
PEAD	14520	0	14520	726	3630	0	726	0	726	0	726	9147,6	1016,4	0
Film	20680	4136	16544	1654,4	13235,2	0	1654,4	0	1654,4	0	1654,4	0	1654,4	2977,92
Matèria orgànica	176000	0	176000	0	0	0	176000	0	176000	0	176000	0	0	0
Vidre	28000	1400	26600	2660	0	2660	26600	0	26600	0	26600	0	0	0
Resta	28000	0	28000	0	0	28000	28000	0	28000	0	28000	0	0	0
Entrada total	400000													

Entrada residus	R	S (Film)	T	U (Llaunes alumini)	V (Rebuig)	W (Fèrrics)	X	Y	Z (Brick)	A1 (PE)	A2 (PEHD)	A3 (Mix)	F (Plàstics)	N (No plàstic)
Paper/Cartró	84000	749,7	0	749,7	0	749,7	0	6300	749,7	0	0	0	0	0
Bricks	24000	25,41	0	25,41	0	25,41	0	360	508,2	0	0	0	0	70,2
Llaunes d'alumini	10000	95	0	95	90,25	4,75	0	50	950	0	0	0	0	900
Metalls	6000	480	0	480	0	480	300	0	480	0	0	0	0	240
PET	8800	3370,4	0	3370,4	0	3370,4	0	2200	3370,4	0	4490,64	0	498,96	554,4
PEAD	14520	5561,16	0	5561,16	0	5561,16	0	3630	5561,16	0	7409,556	823,284	823,284	914,76
Film	20680	11911,68	10720,512	1191,168	0	1191,168	0	13235,2	14889,6	0	0	0	0	0
Matèria orgànica	176000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vidre	28000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resta	28000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Entrada total	400000				11382,588									

A la Taula 7 es mostra en color taronja la quantitat del rebuig de la planta que aniria a un abocador i que, per tant, hauríem d'intentar utilitzar en la valorització energètica. Així, anualment cremaríem aproximadament unes 11.382 tones de residus que es composarien de 750 tones de paper/cartró, 25 tones de bricks, 3.370 tones de PET, 5.561 tones de PEAD i 1.191 tones de Film. Addicionalment, en cas de ser necessari per tal de mantenir el flux de la planta o per ajustar la producció energètica a la demanda, es podria incinerar el film que s'aconsegueix triar (14.856 tones) ja que, aquest, no té cap finalitat comercial ni s'ha descobert cap utilitat viable per al seu reciclatge i, actualment, només s'apila i s'emmagatzema fins que acaba en un abocador. Tenint en compte aquest film, la quantitat i composició del rebuig que es pot destinar a valorització energètica són els indicats a la Taula 8.

*Taula 8. Rebuig de la planta
Font: Elaboració pròpia*

Composició del rebuig	Tones/any	% en pes
Paper/Cartró	749,7	2,86%
Bricks	25,41	0,10%
Llaunes d'alumini	4,75	0,02%
Metalls	480	1,83%
PET	3370,4	12,84%
PEAD	5561,16	21,19%
Film	16047,68	61,16%
Matèria orgànica	0	0,00%
Vidre	0	0,00%
Resta	0	0,00%
Total	26239,1	

A banda de la composició del rebuig hi ha, també, una sèrie de paràmetres que és important conèixer per la seua influència en el procés de combustió. Aquests paràmetres són la humitat, la densitat i la granulometria.

La humitat del rebuig és una dada que és important conèixer ja que, d'aquesta, dependrà que el procés de producció d'energia tèrmica siga més o menys eficient. Quant més alt siga el valor d'aquesta humitat en el material combustible, el poder calorífic serà menor i, per tant, l'eficàcia per produir energia elèctrica serà menor. Per tant, si el grau de humitat del nostre rebuig fora massa alt seria convenient aprofitar el calor residual dels gasos d'escapament que expulsaríem a l'atmosfera per escalfar els residus prèviament abans del procés d'incineració. D'aquesta forma, els residus entrarien amb un grau de humitat menor al forn, cosa que milloraria el rendiment de producció d'energia calorífica ja que la temperatura de combustió estarà més prop de l'òptima, aconseguint una combustió completa.

També suposa un benefici mediambiental utilitzar aquest calor sobrant per escalfar els residus ja que aquests gasos d'escapament eixirien a l'atmosfera amb una temperatura major, disminuint considerablement l'impacte que puga tindre a l'entorn.

A la Taula 9 es mostra el càlcul de la humitat del rebuig que es vol destinar a valorització energètica.

*Taula 9. Càlcul de la humitat i de la densitat del rebuig de la planta de triatge i compostatge
Font: Tchobanoglous, G., Theisen, H. I Vigil, S. A. (1998) "Gestió Integral de Residus sòlids"*

Component	Pes (%)	Humitat (%)	Densitat (Kg/m ³)
Paper/Cartró	2,86%	70,00%	89
Bricks	0,10%	0,20%	80
Llaunes d'alumini	0,02%	2,00%	160
Metalls	1,83%	5,00%	320
PET	12,84%	0,20%	70
PEAD	21,19%	0,20%	131
Film	61,16%	0,20%	57
Matèria orgànica	0,00%	7,70%	291
Vidre	0,00%	2,00%	196
Total		2,28%	80

El percentatge d'humitat obtingut per al rebuig (2,28%) és molt baixet i no ens suposarà un gran problema en el rendiment de la producció d'energia calorífica. No obstant això, es pot plantejar realitzar la instal·lació abans esmentada per tal d'augmentar el rendiment i baixar la temperatura dels gasos d'escapament.

El següent paràmetre que hem de tindre en ment és la densitat dels residus, també calculat a la Taula 9. Aquest paràmetre és molt important ja que de la densitat d'aquests residus dependrà la dimensió de la instal·lació.

Així, quan més densos siguen el productes que deuen passar per les cintes transportadores, menys espai ocuparan i, per tant, les cintes transportadores podran ser més xicotetes, podent abaratir el cost de tot el projecte.

També, la densitat afecta directament a l'energia produïda degut al fet que quan més dens siguen els residus que entren en el forn de combustió, més residus es podran introduir i, per tant, més energia tèrmica es podrà produir.

El valor mitjà dels residus sense compactar és de 80 Kg/m³, segons s'ha calculat a la Taula 9, no obstant això, es pot augmentar aquesta densitat fins la desitjada mitjançant l'ús d'autocompactors que, per altra banda, també suposa un inconvenient per a l'últim paràmetre dels residus que és important conèixer: la granulometria.

Quant més compactem els residus, més disminuirà el seu volum però els residus estaran dins de matrius més grans. En canvi, per al procés de combustió, és millor tindre els residus amb una granulometria més baixa ja que això ajuda a fer que el procés de combustió siga més homogeni, augmentant l'eficiència en el procés de cogeneració.

En el cas del rebuig de la planta de triatge i compostatge, la granulometria dels residus es prou gran i variada ja que el rebuig prové de residus de diferents tipologies (plàstics, paper, llaunes...).

Per tant, de cara a millorar la homogeneïtat del material combustible, s'haurà d'instal·lar abans del procés de combustió una trituradora. Aquesta s'encarregarà de disminuir la grandària dels diferents components dels residus per tal de facilitar que el procés de combustió es realitzi amb una major eficiència.

4.2. Càlcul de l'energia calorífica produïda

Cadascun dels residus que anem a incinerar per a la seua valorització energètica té un poder calorífic determinat. És, per tant, molt important conèixer aquest poder calorífic per tal de poder calcular la producció energètica que pot arribar a tindre la nostra instal·lació.

El poder calorífic inferior (PCI) és la quantitat d'energia per unitat de massa de matèria que es pot desprendre en produir-se una reacció química d'oxidació (combustió). Per als càlculs utilitzem el poder calorífic inferior ja que, encara que el poder calorífic superior siga la quantitat exacta d'energia calorífica produïda en la reacció de combustió, aquest té en compte l'energia de condensació de l'aigua i altres processos de xicoteta escala que utilitzen aquesta energia però que no produeixen calor. Tanmateix, el poder calorífic inferior només té en compte la quantitat d'energia calorífica que és vertaderament aprofitable. Per això, és aquest el valor que hem d'utilitzar en aquest cas, que és el que s'utilitza per al càlcul de producció d'energia calorífica en forns o turbines, on els gasos de combustió que ixen per la xemeneia estan a temperatures molt elevades i on, a més, el vapor d'aigua no arriba a condensar.

Com cadascuna de les fraccions té un poder calorífic diferent, hem de conèixer tots i cadascun d'ells per tal de fer el càlcul de la producció calorífica. En la taula 10 s'exposa el conjunt de poders calorífics i el calculat per al rebuig que es vol valoritzar.

Taula 10. PCI per fracció i total per Kg de rebuig incinerat

Font: Tchobanoglous, G., Theisen, H. I Vigil, S. A. (1998) "Gestió Integral de Residus sòlids"

Component	Pes (%)	PCI (MJ/Kg)
Paper/Cartró	2,86%	16,32
Bricks	0,10%	16,37
Llaunes d'alumini	0,02%	0,69
Metalls	1,83%	0,07
PET	12,84%	46,60
PEAD	21,19%	46,66
Film	61,16%	46,59
Matèria orgànica	0,00%	5,65
Vidre	0,00%	0,19
	Total	44,85

Com es mostra en la taula 10, el rebuig d'aquesta planta tindria un PCI total de 44,85 MJ/Kg que, multiplicat per la massa total del rebuig que aniria a abocador, 26.239,1 tones/any, suposa una producció total de 1.176.823,6 GJ/any en unitats de MWh és aproximadament una quantitat de 326.895,4 MWh de calor cada any.

Com ja s'havia avançat a l'apartat 2.3 aquesta instal·lació d'incineració per a la valorització energètica dels residus consistirà d'un forn de graella per les facilitats, abans esmentades, que aquest tipus de forn suposa.

4.3. Càlcul de l'energia elèctrica produïda

Hi ha diversos tipus de sistemes de producció d'energia que es podrien utilitzar a la nostra planta. Per tant, és recomanable parar-se a fer un estudi de les diferents opcions que tenim al nostre abast.

Les dos principals tecnologies que podríem emprar en la nostra instal·lació per tal de produir energia elèctrica són la turbina de gas i la turbina de cicle combinat.

Les turbines de gas funcionen amb el cicle Brayton (Figura 27), que es un cicle termodinàmic compost d'una etapa de compressió adiabàtica, una etapa de d'escalfament isobàric (caldera) i, finalment, una expansió adiabàtica d'un fluid compressible.

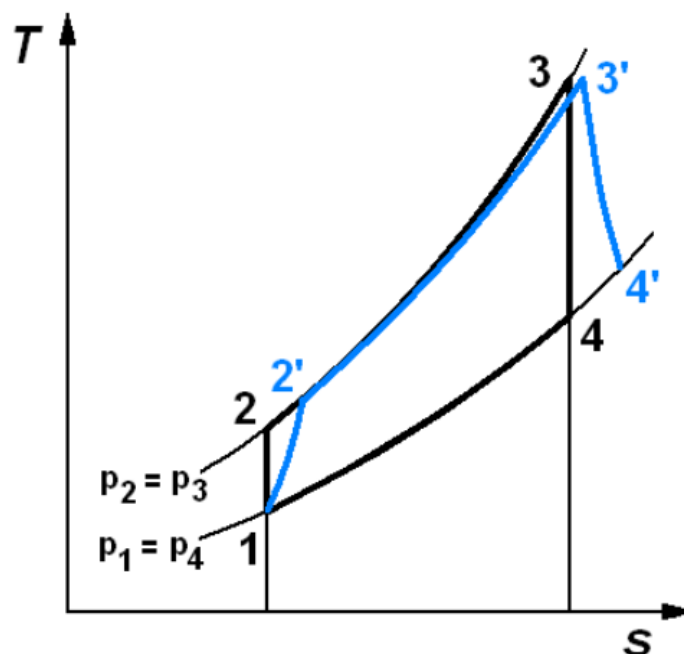


Figura 27. Diagrama T-s del cicle Brayton
Font: [31]

La instal·lació amb turbina de gas està composta per 3 elements: el compressor, la cambra de combustió i la turbina de gas, tal i com es mostra de forma esquematitzada a la Figura 28.

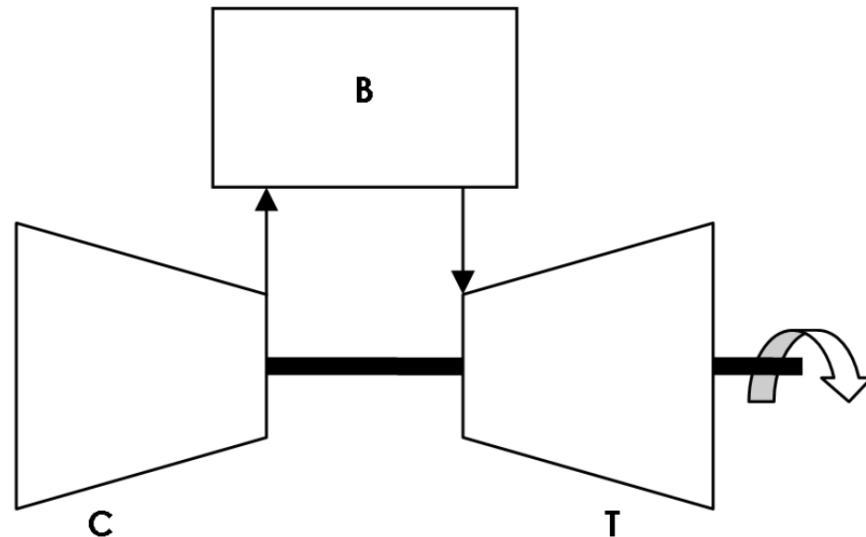


Figura 28. Esquema d'una turbina de gas (C: compressor, B: cambra de combustió, T: turbina)
Font: [32]

A l'esquema de la Figura 28 es pot veure la primera fase que és la compressió, on el compressor augmenta la pressió de l'aire de forma idealment adiabàtica (sense intercanvi d'energia tèrmica) abans de què aquest arribi al forn de graella (B), on l'aire comprimit ajuda a què es produísca el procés de combustió del residu que hi entren. Finalment, els gasos de combustió eixiran de la cambra de combustió i aniran a la turbina (T) a molt alta temperatura, ja que aquesta pot rondar els 1200 °C, fent girar-la, degut a l'energia mecànica produïda, i amb això fent rotar el generador que serà el que produísca l'energia elèctrica. A banda, els gasos d'escapament a l'eixida de la turbina hi aniran o bé a l'atmosfera o bé es reaprofitaran per tal de preescalfar els residus per tal de disminuir la seua humitat.

L'altra possibilitat és la de la instal·lació d'un cicle combinat. El principal avantatge d'aquest tipus d'instal·lació és el reaprofitament de l'energia tèrmica dels gasos d'escapament, sent aquesta tecnologia més rendible en termes de calor/electricitat i rendiments que giren al voltant del 60% front al 35% de les centrals tèrmiques de gas.

Tanmateix, una planta de cicle combinat suposa una inversió econòmica considerablement major i, a banda, normalment s'utilitza per a potències més elevades de les que serà capaç de produir la nostra planta degut, principalment, a la natura del nostre combustible.

En una planta de cicle combinat es produeixen de forma paral·lela dos cicles termodinàmics. El primer d'ells és el cicle Brayton, explicat abans ja que és el de la turbina de gas. El segon cicle, en aquest cas corresponent a una turbina de vapor, és el cicle Rankine.

És per aquest motiu que aquesta instal·lació suposa un increment de les necessitats econòmiques i tècniques ja que, ací, els gasos que ixen de la turbina del cicle Brayton van a un

intercanviador de calor per tal de calfar un corrent d'aigua i així produir vapor d'aigua que serà el que, en aquest cas, farà rotar la turbina que produïska energia elèctrica.

Per tal d'estalviar en el cost material d'una instal·lació d'aquest tipus, el més comú és fer que ambdós turbines giren sobre el mateix eix fent necessari només un alternador i reduint les necessitats d'espai.

A la Figura 29, es presenta un esquema de com és una central tèrmica de cicle combinat.

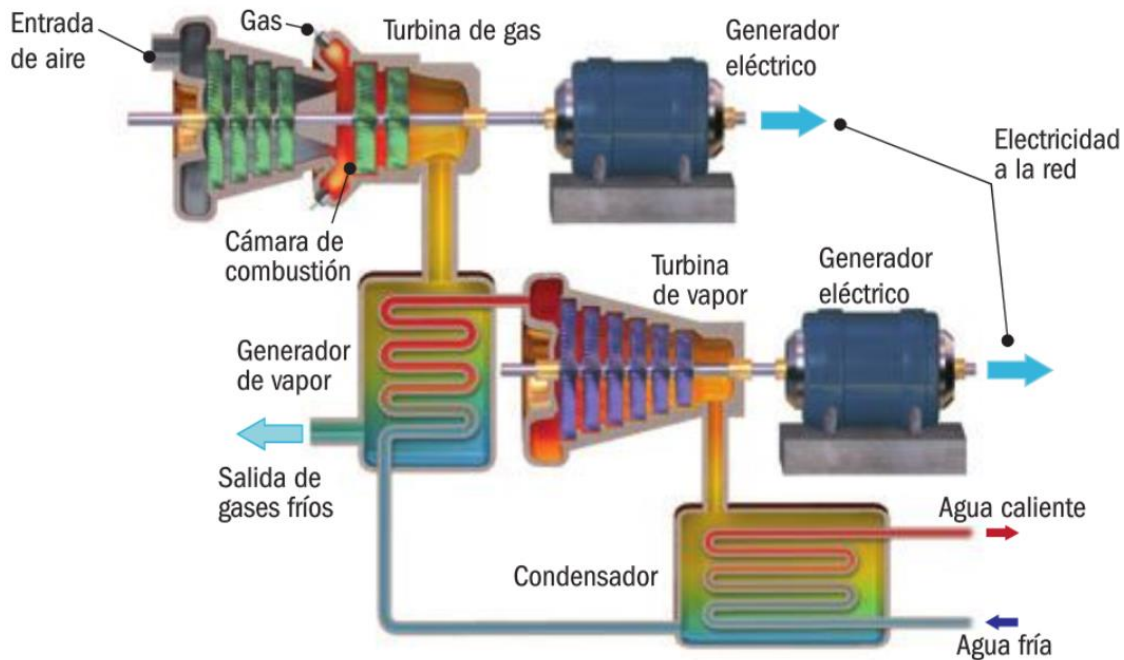


Figura 29. Esquema d'una central tèrmica de cicle combinat.
Font: [21]

Com es pot veure a la Figura 29, una central tèrmica de cicle combinat primer comença amb l'entrada d'aire que passa per una etapa de compressió fins que arriba a la cambra de combustió que, en el nostre cas, en comptes de funcionar amb gas, funcionaria amb els residus urbans i la cambra de combustió seria una graella d'incineració. El gas que es produeix en el procés d'incineració és el que fa rotar la turbina de gas i, posteriorment, va al generador de vapor on el calor del gas de combustió s'utilitza per calfar l'aigua del cicle de Rankine. Finalment, els gasos ixen del generador de vapor pels tubs d'escapament.

Al cicle de Rankine, el vapor acabat de generar fa rotar la turbina de vapor que produirà energia elèctrica gràcies al generador d'electricitat i, el vapor que ix (normalment a una temperatura de 100 °C i a pressió atmosfèrica) va al condensador per a què torne a l'estat líquid, mitjançant un focus fred d'aigua o aire, per tal que pugui ser bombejat una altra vegada al generador de vapor, tancant el cicle.

Així, els elements addicionals dels que hauria de disposar aquesta instal·lació en comparació amb el cicle de gas són:

- **Generador de vapor:** aquest és l'element on es produeix el vapor d'aigua gràcies a l'intercanvi d'energia calorífica entre els gasos d'escapament i l'aigua que arriba bombejada des del condensador. Aquest procés té dos avantatges. Per una banda, s'aconsegueix disminuir la temperatura d'eixida dels gasos d'escapament reduint, per tant, el seu impacte al medi ambient i l'entorn natural de la planta. Per una altra banda, s'aprofita el calor d'aquests gasos d'escapament per a la producció de vapor. Dins d'aquest generador de vapor, l'aigua passa per dins de canonades, és a dir, la instal·lació és aquotubular. Els gasos d'escapament van per fora d'aquests tubs cedint calor i generant vapor que, normalment, està a diferents nivells de pressió dins de la caldera. Per una banda, està el vapor de baixa pressió (uns 4 bars), vapor a pressió mitjana (25 bars aproximadament) i, finalment, vapor de alta pressió (uns 120 bars).

Aquestes tres pressions coincideixen amb 3 elements que componen el generador de vapor: l'economitzador, l'evaporador i el sobreescalfador.

- L'economitzador rep l'aigua que ve des del condensador i li provoca un preescalfament que no fa que canvie el seu estat a l'estat gasós però que li augmenta prou la seua temperatura per tal de què a les següents etapes aquest procés siga més ràpid i senzill.
 - L'evaporador que, com el seu nom indica, és l'element que rep l'aigua de l'economitzador i fa que aquesta arribi a la seua temperatura d'ebullició produint que canvie l'estat a vapor d'aigua.
 - Finalment, el sobreescalfador és l'element que augmenta considerablement la pressió i, al mateix moment, la temperatura del vapor allunyant-la de la temperatura de saturació per poder assegurar que no es produeixen gotes d'aigua líquida dins la turbina i, d'aquesta forma, assegurar que no es provoca cap dany mecànic a les pales de la turbina de vapor.
- **Condensador:** és l'element que, a l'eixida del vapor de la turbina fa que aquest torne a l'estat líquid i que, per tant, pugui ser bombat una altra vegada a l'intercanviador de calor tancant el cicle. Aquest condensador també funciona com una mena d'intercanviador de calor on un fluid extern, que pot ser o aire o aigua, passa dins d'unes canonades per dins del condensador fent que el vapor del nostre cicle Rankine cedisca calor cap a l'exterior i, així, torne a l'estat líquid.

Un dels problemes del cicle de vapor és l'aigua que ix del sistema de refrigeració del condensador, ja que aquesta ix a gran temperatura i requereix grans quantitats d'aigua per tal de què es pugui condensar l'aigua del cicle. Açò pot provocar un impacte important al medi natural i és objecte d'un bon estudi d'impacte medi ambiental.

Tenint en compte els valors típics de rendiment de les turbines de vapor i de gas, les produccions elèctriques dels diferents sistemes serien els que s'indiquen a continuació:

- Per al sistema de turbina de gas, agafant per al càlcul el seu valor típic de producció d'energia elèctrica (que gira al voltant del 33%) i que el poder calorífic inferior del rebuig (abans calculat) és de 326.895,4 MWh es tindria una producció d'energia elèctrica de 107.875,5 MWh a l'any.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

- Per a la turbina de gas més turbina de vapor, se segueix suposant el valor típic de rendiment de la turbina de gas en un 33% i, a banda, s'augmenta la producció d'electricitat degut a la turbina de vapor que es valora en un 7%. Així, el rendiment d'una instal·lació d'aquest tipus podria girar al voltant del 40%, tal i com es pot veure a la Figura 30.

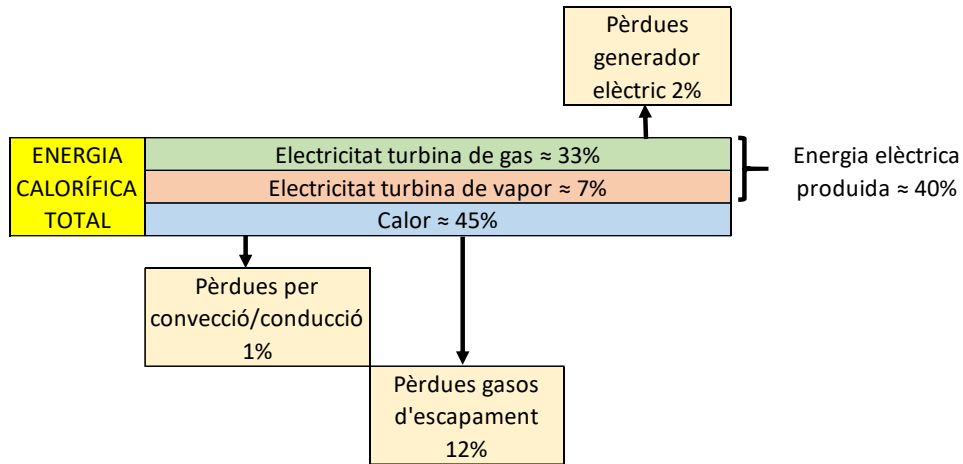


Figura 30. Fluxos d'energia en una central de cicle combinat
Font: El·laboració pròpia a partir de les dades de [21]

Així, la producció elèctrica que s'aconseguiria amb una central de cicle combinat seria de 130.758,2 MWh a l'any, valor que s'obté multiplicant els de 326.895,4 MWh de calor produït pel rendiment de 0,4. Per tant, amb aquest tipus d'instal·lació s'estaria augmentant la producció elèctrica en 22.882 MWh a l'any.

Tanmateix, tot i ser un procés més rendible en termes energètics, com la finalitat principal d'aquesta instal·lació no és la venda d'electricitat sinó la producció d'electricitat per a l'autoconsum, la millor opció és la d'instal·lar una central tèrmica de valorització de residus basada en una turbina de gas degut a l'abaratiment de la instal·lació en material, maquinària i personal.

5. Càlcul d'emissions de gasos de combustió i de producció d'escòries i cendres

5.1. Càlcul de les emissions de gasos contaminants

Com ja s'ha calculat abans la composició i quantitat total del residus que aniran a incineració per a la seua valorització energètica, ara deurà ser objecte d'anàlisi la producció de contaminants dels residus d'aquest procés tèrmic.

Aquest estudi és cabdal ja que, en cap cas, la planta podrà superar el nivell de contaminació establert per llei dins de les anomenades Autoritzacions Ambientals Integrades (AAI) concedides per l'autoritat autonòmica i, en cas de què el supere, s'haurà d'incloure en el projecte la construcció d'una instal·lació de depuració de gasos de combustió. No obstant això, com encara no s'ha plantejat cap tipus d'instal·lació d'aquest tipus en tot el territori valencià, no hi ha dades disponibles de nivells de contaminació límits. Per això, de cara a aquest treball es tindran en compte els valors que proposa la legislació general per a una instal·lació d'incineració: el Reial Decret 815/2013 [22], del 18 d'octubre, pel qual s'aprova el Reglament d'emissions industrials i de desenvolupament de la llei 16/2002, de l'1 de juliol, de prevenció i control integrats de la contaminació.

Aquest Reial Decret, motivat per la Directiva europea 2008/1/CE del Parlament Europeu és el que introdueix el concepte de Autorització Ambiental Integrada del que ja hem parlat, que suposa un concepte integrador de la visió mediambiental. A la Taula 11 s'indiquen els valors límit per a les emissions d'una instal·lació com la que es vol dissenyar en aquest treball.

Taula 11. Valors límits d'emissió pels combustibles sòlids amb excepció de la biomassa
Font: BOE [22]

Contaminants	< 50 MWth	50 a 100 MWth	100 a 300 MWth	> 300 MWth
SO ₂	-	850 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
NO _x	-	400 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
Partícules	50 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³

A més, el Reial Decret 815/2013 especifica que "els valors dels intervals de confiança del 95% de qualsevol mesura, determinats en els valors límits d'emissió diaris, no superaran els següents percentatges dels valors límits d'emissió:

Diòxid de sofre: 20%
Diòxid de nitrogen: 20%
Partícules totals: 30%" [22]

A banda, com s'ha esmentat, en cas de què se superen els límits d'emissió de gasos i s'hagen de depurar aquests, la Directiva també incorpora valors límits de contaminació d'aigües residuals procedents de sistemes de depuració de gasos d'escapament, els quals s'indiquen a la Taula 12.

Taula 12. Valors límit d'aigües residuals abocades procedents de la depuració de gasos d'escapament en una instal·lació d'incineració
Font: BOE [22]

Substàncies contaminants	Valors límit d'emissió expressats en concentracions en massa per a mostres no filtrades	
1. Total de sòlids en suspensió tal com es defineixen al Reial Decret-llei 11/1995, del 28 de desembre, pel qual s'estableixen les normes aplicables al tractament de les aigües residuals urbanes i en el Reial Decret 509/1996, del 15 de març, que el desenvolupa.	95% - 30 mg/l	100% - 45 mg/l
2. Mercuri i els seus compostos, expressats en mercuri (Hg)	0,03 mg/l	
3. Cadmi i els seus compostos, expressats en cadmi (Cd)	0,05 mg/l	
4. Tal·li i els seus compostos, expressats en tal·li (Ti)	0,05 mg/l	
5. Arsènic i els seus compostos, expressats en arsènic (As)	0,15 mg/l	
6. Plom i els seus compostos, expressats en plom (Pb)	0,2 mg/l	
7. Crom i els seus compostos, expressats en crom (Cr)	0,5 mg/l	
8. Coure i els seus compostos, expressats en coure (Cu)	0,5 mg/l	
9. Níquel i els seus compostos, expressats en níquel (Ni)	0,5 mg/l	
10. Zinc i els seus compostos, expressats en zinc (Zn)	1,5 mg/l	
11. Dioxines i furans, definits com la suma de les diferents dioxines i furans evaluats d'acord amb l'annex 1	0,3 mg/l	

Per procedir a fer el càlcul d'emissions de contaminants en el gasos d'escapament hi ha dos formes per a fer-ho.

Per una banda, com la fracció de pes que té cada element químic dins dels compostos del rebuig és coneguda de bibliografia i les quantitats de cada tipus de material dins del rebuig total també són conegudes, es pot fer una ponderació i plantejar una única reacció de combustió que ajude a conèixer tots els subproductes de la reacció.

Per altra banda, aquestes reaccions de combustió es poden realitzar de forma aïllada segons cada tipus de material del rebuig i després expressar els contaminants dels gasos d'escapament com una suma dels procedents de totes aquestes reaccions de combustió.

En aquest treball, coneixent la fracció de pes de cada element de la taula periòdica dins dels materials del rebuig, el més directe és utilitzar el primer mètode. A la Taula 13 es mostra el càlcul de la composició química del rebuig de la planta de triatge i compostatge.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE
I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

Taula 13. Càlcul de la composició d'elements químics en percentatge en pes del rebuig de la planta de triatge i compostatge

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades indicades a Tchobanoglous, G., Theisen, H. I Vigil, S. A. (1998) "Gestió Integral de Residus sòlids"

Fracció	%C	%H	%O	%N	%S	%Cl	%Cendres	%Pes
Paper/Cartró	43,4	5,8	44,3	0,3	0,2	0	6	2,86%
Bricks	43	5,9	44,8	0,3	0,2	0	5	0,10%
Llaunes d'alumini	0	0	0	0	0	0	100	0,02%
Metalls	0	0	0	0	0	0	100	1,83%
PET	85,2	14,2	0	0,1	0,1	0	0,4	12,84%
PEAD	85,2	14,2	0	0,1	0,1	0	0,1	21,19%
Film	85,2	14,2	0	0,1	0,1	0	0,2	61,16%
Matèria orgànica	48	6,4	37,6	2,6	0,4	0	5	0,00%
Vidre	0,5	0,1	0,4	0,1	0	0	98,9	0,00%
Suma ponderada	82,39	13,69	1,31	0,10	0,10	0,00	2,22	100%

Ara que el percentatge en pes dels diferents elements químics dins del rebuig és conegut, s'ha d'obtenir una fórmula empírica que represente al rebuig per poder plantejar la reacció de combustió. Per això, s'ha de calcular la fracció molar de l'element per tal de poder conèixer la relació estequiomètrica de cadascun d'ells dins la fórmula empírica del rebuig. La fracció molar es calcula d'acord amb la següent equació:

$$Fm = \frac{\%}{Pa} \quad (2)$$

On:

- Fm és la fracció molar de l'element en qüestió
- $\%$ és el percentatge en pes de l'element (calculat a la Taula 13)
- Pa és el pes atòmic de cada element

Aplicant l'equació 2 s'arriba als següents valors indicats a la Taula 14.

Taula 14. Càlcul de la fracció molar de cada element
Font: Elaboració pròpia

Element químic	Pes atòmic (Pa)	Percentatge en pes (%)	Fracció molar de l'element (Fm)
C	12,010	82,391	6,860
H	1,010	13,690	13,554
O	16,000	1,309	0,082
N	14,020	0,104	0,007
S	32,060	0,101	0,003
Cl	35,460	0,000	0,000

A continuació, s'ha de calcular la relació estequiomètrica de cada element; per arribar a aquest càlcul s'ha de dividir cada fracció molar per la menor fracció molar de tots els elements que, en aquest cas, és la del sofre: 0,0032.

$$Ce = \frac{Fm}{Fm(\min)} \quad (3)$$

On:

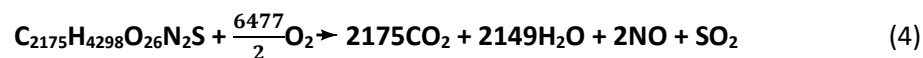
- Ce és el coeficient estequiomètric de l'element en qüestió a la fórmula empírica
- Fm és la fracció molar de l'element en qüestió
- Fm (min) és la fracció molar més xicoteta de totes.

En aplicar l'equació 3 s'arriba als valors de la Taula 15.

Taula 15. Coeficients estequiomètrics per element a la fórmula empírica del rebuig
Font: Elaboració pròpia

Element químic	Coeficient estequiomètric (Ce)
C	2175
H	4298
O	26
N	2
S	1
Cl	0

Així, ja es pot plantejar la reacció de combustió que es produeix, correctament ajustada, suposant que aquesta combustió serà completa.



Ara que ja es coneix la reacció de combustió, es pot procedir a calcular la massa de contaminants que es generen al procés. Per arribar a aquestes dades s'ha de conèixer el pes molecular (Pm) del rebuig per mol i el nombre de mols del rebuig per tona.

$$\text{PM} = \sum(\text{C}_e \times \text{P}_a) \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \quad (5)$$

$$n \text{ rebuig} = \frac{1t \times (1 - \% \text{ cendres}) \times 10^6 \left(\frac{\text{g}}{t}\right)}{\text{Pes atòmic (Pm)}} \left(\frac{\text{mol}}{t}\right) \quad (6)$$

En aplicar les equacions 5 i 6, s'obté que el pes molecular del rebuig és de 30.946,4 g/mol i que el nombre de mols per tona de rebuig és de 31,6 mol/t. A la Taula 16 es mostren els càlculs realitzats.

Taula 16. Càlcul del pes molecular i del nombre de mols del rebuig
Font: Elaboració pròpia

Element químic	Coefficient estequiomètric (Ce)	Multiplicació parcial
C	2175	26125
H	4298	4341
O	26	415
N	2	33
S	1	32
Cl	0	0
	Pes molecular del rebuig (g/mol)	30946,42
	% cendres	2,22
	n rebuig (mol/t)	31,60

I finalment, amb les següents equacions, s'arriba al resultat desitjat:

$$n \text{ per compost} = C_e \times n \text{ rebuig} \quad (7)$$

On C_e ara és el coeficient estequiomètric de cada compost a la reacció de combustió

(4).

$$m \left(\frac{\text{Kg}}{\text{t}} \right) = n \text{ per compost} \times P_m \quad (8)$$

Taula 17. Massa de cada compost resultant de la combustió per tona de rebuig incinerat

Font: Elaboració pròpia

Compost	n per compost (mol/t)	Pm del compost (g/mol)	Masa per compost (Kg/t)
CO ₂	68723,5	44,01	3024,52
H ₂ O	67902,0	18,02	1223,59
NO	63,2	30,02	1,90
SO ₂	31,6	64,06	2,02

El que es pot veure en aquests resultats és que el compost més produït és el CO₂, una substància que, *a priori*, no suposa cap risc mediambiental més enllà de l'impacte que pugui tindre a l'efecte d'hivernacle.

En canvi, també hi ha emissions de diòxid de sofre (SO₂) i de monòxid de nitrogen (NO) que encara que, *a priori*, pareixen xicotetes, s'ha de procedir a realitzar el càlcul per a comprovar que, efectivament, s'està complint la legislació vigent, abans mostrada, i que s'expressa en magnituds de concentracions, en aquest cas en mg/Nm³.

Per a fer aquesta comprovació anem a suposar la següent sèrie de casuístiques i dades:

- La composició de l'aire entrant s'aproxima a 21% en volum d'oxigen i 79% de nitrogen.
- Per tal de què la reacció de combustió siga completa s'alimentarà el forn de graella amb un excés del 20% d'aire.
- El nitrogen de l'aire emprat a la combustió se suposarà que no es transforma en òxids de nitrogen, és a dir, que tal com entra, ix.

Com s'ha suposat a l'entrada un excés d'aire d'un 20%, l'O₂ i el N₂ a l'eixida són els calculats a la Taula 18.

Taula 18. Balanç molar d'aire (O_2 i N_2) al procés de combustió
Font: Elaboració pròpia

Compost	Mols
Rebuig	31,6
O_2 Reacció	102326,9
O_2 a l'entrada	122792,3
O_2 a l'eixida	20465,4
Aire entrant	584725,1
N_2 a l'eixida	461932,8

La dada dels mols d' O_2 de la reacció s'ha obtingut multiplicant els mols del rebuig pel coeficient estequiomètric de l' O_2 de la reacció (4): $6477/2$. D'aquesta forma també coneguem els mols que ixen d' O_2 i N_2 , els quals es mostren a la Taula 18.

Ara es procedeix al càlcul dels mg/Nm^3 de cadascun dels diferents compostos resultants de la reacció de combustió. Per al càlcul de la massa de cadascun dels compostos es farà ús de la següent equació:

$$\left(\frac{kmol}{t} \text{ del compost}\right) = \frac{m \left(\frac{kg}{t}\right)}{Pm \left(\frac{g}{mol}\right)} \quad (9)$$

Per al càlcul del volum de gasos d'eixida, se sap que, en condicions normals, 1 mol de gas ocupa 22,4L.

$$\left(\frac{Nm^3}{t}\right) = 22,4 \left(\frac{L}{mol}\right) * \left(\frac{kmol}{t}\right) * 10^3 \left(\frac{mol}{kmol}\right) * 10^{-3} \left(\frac{Nm^3}{L}\right) \quad (10)$$

Finalment, tenint els $\left(\frac{Nm^3}{t}\right)$ de gasos d'eixida i la massa de cada compost expressada en $\left(\frac{kg}{t}\right)$, es pot arribar a obtenir els $\frac{mg}{Nm^3}$ amb la següent equació:

$$\left(\frac{mg}{Nm^3}\right) = \frac{\left(\frac{kg}{t}\right)}{\left(\frac{Nm^3}{t} \text{ total}\right)} \times 10^6 \quad (11)$$

Així s'obtenen els valors de la Taula 19.

Taula 19. Càlcul de les concentracions dels diferents compostos en mg per metre cúbic de gasos a l'eixida del procés de combustió

Font: Elaboració pròpia

Compost	n per compost (mol/t)	m (Kg/t)	kmols/t	Nm ³ /t	mg/Nm ³
CO ₂	68723,5	3024,52	68,72	1539,41	218089,50
H ₂ O	67902,0	1223,59	67,90	1521,00	88229,81
NO	63,2	1,90	0,06	1,42	136,79
SO ₂	31,6	2,02	0,03	0,71	145,95
O ₂	20465,4	654,89	20,47	458,42	47222,39
N ₂	461932,8	12934,12	461,93	10347,29	932642,29
Total (Nm³/t)	13868,25				

Ara que aquestes concentracions son conegudes es pot comprovar si les emissions estan conforme a la legislació que s'ha esmentat abans sobre les emissions d'una planta incineradora de residus (exceptuant la biomassa). Els valors més estrictes d'aquesta normativa parla de concentracions límits de $200 \frac{mg}{Nm^3}$, tant per al SO₂ com per als NO_x (veure Taula 11). Com es pot comprovar, la nostra instal·lació compleix completament la normativa en quant a gasos d'escapament ja que els valors que emet són prou més xicotets, de $137 \frac{mg}{Nm^3}$ per al cas del NO i de $146 \frac{mg}{Nm^3}$ per al cas del SO₂.

Per tant, no serà necessària la instal·lació d'un sistema de depuració d'aquest gasos d'escapament.

5.2. Càlcul de les emissions de CO₂

En segon lloc, s'ha de comprovar que les emissions de CO₂ també estan dins de normativa. A continuació es farà la comprovació.

En el cas de les emissions de diòxid de carboni, l'administració responsable de marcar els objectius és la Unió Europea. A nivell europeu s'atorguen uns objectius respecte a les emissions de diòxid de carboni a cada estat membre que marquen els límits permesos per a cada estat.

Després, és a nivell estatal on aquests límits d'emissions es reparteixen pels diferents sectors potencials emissors de diòxid de carboni. Aquests límits per sector s'anomenen drets d'emissions i dins de cada sector es reparteixen entre les diferents empreses que comprenen el sector estratègic en qüestió.

A Espanya aquests drets d'emissions es regulen mitjançant la llei 1/2005, del 9 de març [23], per la qual es regula el règim de comerç de drets d'emissió de gasos d'efecte hivernacle. Aquesta llei, revisada el passat 7 de desembre de 2018, formula en el seu article 4 que tota

instal·lació que genere aquest tipus de gasos és susceptible de necessitar autorització d'emissió de gasos.

Per tal de saber els límits estimats d'emissió d'aquesta instal·lació s'ha de buscar en el Pla Nacional d'Assignació de drets d'emissió. Hi ha 3 plans: 2005-2007, 2008-2012 i 2013-2020. L'últim pla dels tres amb informació de les tones d'emissió de diòxid de carboni per sector és el corresponent amb el període 2008-2012. Dins de l'apartat 1. B) se situarien les plantes de cogeneració, amb independència del sector al qual pertanyen. Com es pot veure en la Taula 20, el límit establert anual és de 11.800 milions de tones de diòxid de carboni anuals.

Taula 20. Assignació d'emissions de CO₂ per sector per al període 2008-2012
Font: BOE [24]

Sector	Emisiones							Asignación		
	1990	2000	2001	2002	2005	Promedio 2000-2005		Asignación efectiva en 2005 ¹¹	Asignación Promedio anual 2005-2007	Asignación Promedio anual 2008-2012
	Mil. Tm CO ₂	Mil. Tm CO ₂	Mil. Tm CO ₂	Mil. Tm CO ₂	Mil. Tm CO ₂	Mil. Tm CO ₂	PM/90	Mil. Tm CO ₂	Mil. Tm CO ₂	Mil. Tm CO ₂
1. Instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW, incluyendo:										
a) Instalaciones de producción de energía eléctrica de servicio público. ¹²	61,61	86,77	81,26	95,95	101,24	91,30	48,2%	86,250	85,400	54,053
Total instalaciones de los epígrafes 1 b) y 1 c) de la Ley 1/2005	12,50	14,23	14,45	16,63	20,43	16,43	31,5%	15,997	23,136	17,158
b) Instalaciones de cogeneración con independencia del sector en el que den servicio (exceptuando los sectores enumerados en los epígrafes 2 a 9 del anexo I de la Ley 1/2005).		9,24	9,25	10,93	10,69	10,03			13,001	11,800
c) Otras instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW no incluidas en los apartados 2 a 9. ¹³		4,99	5,20	5,70	9,74	6,41			10,135	5,358
2. Refinerías de hidrocarburos. ¹⁴	12,64	15,25	14,99	14,86	15,46	15,14	19,8%	15,250	15,250	16,133
3. Coquerías.										
4. Instalaciones de calcinación o sinterización de minerales metálicos incluido el mineral sulfurado.										
5. Instalaciones para la producción de arrabio o de acero (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de colada continua de una capacidad de más de 2,5 toneladas por hora. ¹⁵	13,83	10,79	10,74	10,85	11,05	10,86	-21,5%	11,495	11,230	12,194

Ara, sabent que les instal·lacions de cogeneració corresponen amb el tipus 1.b), es pot anar a consultar altres instal·lacions de les mateixes característiques per tal de veure els drets d'emissió que tenen atorgats i així poder comparar amb la nostra instal·lació.

Taula 21. Mostra d'assignació individual de drets d'emissió de CO₂ a unes indústries de cogeneració

Font: BOE [25]

Instal·lació	Localidad	Comunidad Autónoma	Sector	Tipología	Asignación 2008	Asignación 2009	Asignación 2010	Asignación 2011	Asignación 2012
Central Termosolar Andasol-3	Aldeire (Granada)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	Nueva instalación	0	0	0	0	12.341
Cogeneración Lubrisur - Sociedad Derivados Energéticos para el Transporte y la Industria, S.A. (DETISA)	San Roque (Cádiz)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	Nueva instalación	0	0	0	38.880	109.707
Grupo Empresarial Ence S.A. - instalación de Huelva	Huelva	Andalucía	Industria: pasta y papel	Ampliación	0	0	0	0	12.227
Palma Solar Termoeléctrica "Palma del Río I" - Sociedad Termosolar Palma Saetilla, S.L.	Palma del Río (Córdoba)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	Nueva instalación	0	0	0	7.903	15.805
Tomates del Sur, S.L.U. (antes "Nueva Desmontadora Sevillana, S.A. - DEVISA - Planta Las Cabezas de San Juan")	Las Cabezas de San Juan (Sevilla)	Andalucía	Combustión (1.b - 1.c)	Nueva instalación	0	0	0	6.803	6.803
Dolomias de	Mores				0	0	0	0	0

Per poder comparar hem de conèixer la producció de diòxid de carboni de la planta de cogeneració. Per això, sabent que l'emissió de CO₂ és de 3024,52 Kg/t de rebuig i sabent que les tones anuals de rebuig que se sotmeten al procés de valorització energètica arriben als 26.239,1 t/any, les emissions anuals de diòxid de carboni serien de 79.360,68 t/any. Aquesta xifra és similar a les que estan exposades en la Taula 21; per tant, podríem considerar que es compliran els drets d'emissió.

No obstant això, si no arribàrem a complir el límits perquè ens passarem algun any o perquè el límit de drets d'emissió no fora molt elevat, sempre es podria plantejar la compra de drets d'emissió, malgrat augmentar el cost de manteniment de la planta en aquest cas.

5.3. Càlcul de les emissions de partícules

Finalment, l'únic càlcul que restaria seria el del càlcul d'emissió de partícules.

Segons la legislació, tal i com s'ha indicat a la Taula 11, la concentració màxima de partícules als gasos d'escapament és de 30 mg/Nm³, per al cas més estricte. Per tant, la instal·lació ha d'emetre una quantitat inferior de partícules.

Aquestes provenen de les cendres que, per la pròpia força dels gasos són espentades per la xemeneia i acaben eixint en forma de partícules. Per tant, per a fer aquest càlcul i basant-se en altres exemples, se suposarà que la quantitat de partícules als gasos d'escapament suposen el 10% de les cendres produïdes al forn de graella.

Si el percentatge de cendres que s'han produït suposen un 2,22% en pes del rebuig que s'utilitza en el procés de cogeneració (veure Taula 16); multiplicant aquest valor per una

tona de rebuig, això suposa una producció de 22,2 Kg/t i, segons l'estimació que s'ha fet d'un 10% d'emissió de partícules s'estaria parlant de 2,22 Kg de partícules per tona de rebuig incinerada.

Com se sap que el volum dels gasos és de 13.868,25 Nm³/t i que la producció de partícules és 2.220.000 mg/t, ix un resultat de 160 mg/Nm³.

Així doncs, com aquesta quantitat d'emissió de partícules és superior 30 mg/Nm³ (límit marcat per llei); els gasos d'escapament s'hauran de sotmetre a un procés de depuració.

Per a calcular el percentatge de depuració que s'hauria d'aconseguir s'aplica la següent expressió:

$$H = \frac{160 - 30}{160} * 100 = 81,3 \% \quad (12)$$

Hi ha diferents tipus de sistemes de depuració de partícules, com per exemple els filtres electrostàtics, els filtres de mànigues o els ciclons. El seu funcionament és el següent:

- Els filtres electrostàtics capten les partícules, presents en l'aire mitjançant la seua ionització. El seu funcionament consisteix a entrar aire a l'equip on les partícules son carregades elèctricament; posteriorment, aquestes són atrapades pels elèctrodes receptors. Aquests equips són d'alt rendiment arribant fins a un 99,9% de partícules atrapades.
- Els filtres de mànigues són equips que eliminen les partícules fent passar l'aire a través d'un teixit on queden atrapades.
- Els ciclons tenen un funcionament simple ja que es basen en la rotació i la gravetat. L'aire a depurar s'introdueix dins el cicló on és sotmès a una centrifugació junt amb un canvi en la direcció de l'aire. Això fa que les partícules es depositen al fons dins d'un caixó d'arreplegada.

Dins de la varietat de tipus que s'han presentat, en aquest cas ens decantem per escollir un filtre electrostàtic degut a la seua senzillesa de funcionament i, a banda, per la fiabilitat i l'alta taxa de depuració. Els altres sistemes poden introduir dificultats a causa del tipus de instal·lació, com per exemple els filtres de mànigues que probablement no suportarien les altes temperatures a les que treballaria a banda del seu manteniment. O en el cas dels ciclons no presenten bons rendiments a l'hora d'eliminar partícules molt xicotetes del corrent de gasos.

6. Disseny de la instal·lació

Amb tota la informació arreplegada al present treball s'ha de procedir al disseny del que serà la instal·lació. Ja que en aquesta instal·lació s'uneixen diferents tipologies de màquines i diferents fluxos de matèria i energia es dissenyarà la instal·lació en diferents parts.

Així, es considera que la instal·lació es pot dividir en 3 sistemes diferenciats: la línia de matèria a valoritzar energèticament on es produeix la combustió dels RU, la línia de depuració de gasos i, finalment, el sistema de producció d'electricitat.

Es procedeix a la seua explicació.

6.1. Sistema d'incineració de RU

El sistema d'incineració dels RU compren el flux dels RU des de la seua entrada a la instal·lació fins el rebuig de les cendres. Tenint en compte que per la instal·lació passaran 26.239 tones/any i suposant que treballarà 250 dies de mitja a l'any (només els dies laborables de dilluns a divendres) i en dos torns de 8 hores al dia (16 hores), això suposa que aquest sistema deu estar preparat per admetre 105 tones de rebuig al dia o, aproximant, 7 t/h.

Aleshores, aquesta instal·lació deurà estar preparada per a un cabal d'aquest tipus.

Així, aquest sistema es composaria de:

- **Dipòsit del rebuig:** aquest dipòsit emmagatzemarà el rebuig provinent de la planta de triatge i compostatge gràcies a una cinta que l'alimentarà de forma continua. Degut a la gran quantitat de residus que tractarà i a que ha de tindre prou espai per tal d'emmagatzemar tots el residus que vinguen de la planta per si, en cas de fallada de la planta de valorització energètica, s'haja de parar la producció elèctrica durant cert temps, es planteja que pugui admetre el rebuig que entra en dos torns laborals (16 hores), és a dir, 112 tones de rebuig. Com s'havia esmentat abans, la densitat mitjana dels residus és de 80 Kg/m^3 ; així, aquest pulmó d'alimentació ocuparà un volum de 1400 m^3 que, assumint una altura de 3 metres, obtenim que aquesta àrea ha d'ocupar uns 470 m^2 . No obstant això, amb un correcte funcionament, només s'utilitzarà una part més xicoteta del dipòsit que pot ser d'uns 200 m^2 .
- **Polp oleohidràulic:** serà l'encarregat d'anar alimentant la línia segons la demanda de tot el procés productiu. El polp anirà agafant tot el rebuig emmagatzemat al dipòsit del rebuig i subministrant-lo a la línia. Per tal de controlar el polp es necessita una cabina. Perquè càpiguen els controls del polp seria prou amb una cabina de 10 m^2 .
- **Trituradora:** la finalitat de la trituradora és la de reduir la grandària del rebuig i, a banda, homogeneïtzar tots els residus. Aquest procés ajuda al rendiment de la instal·lació ja que el rebuig està compostat de residus de diferents natures i composició i aquest procés ajuda a homogeneïtzar el RU fent que el procés de combustió siga més estable. L'alimentació d'aquesta trituradora es podria realitzar amb una cinta que siga

capaç d'admetre el cabal de RU i que provinga directament des de l'eixida del rebuig de la planta de triatge.

Consultant catàlegs es decideix instal·lar una trituradora de la marca UNTHA model XR2000 que té unes dimensions en planta de 5300 x 2200 mm (12 m²) [26].



Figura 31. Tallants de la trituradora de RU
Font: Omer Group [33]



Figura 32. Trituradora de RU
Font: Omer Group [33]

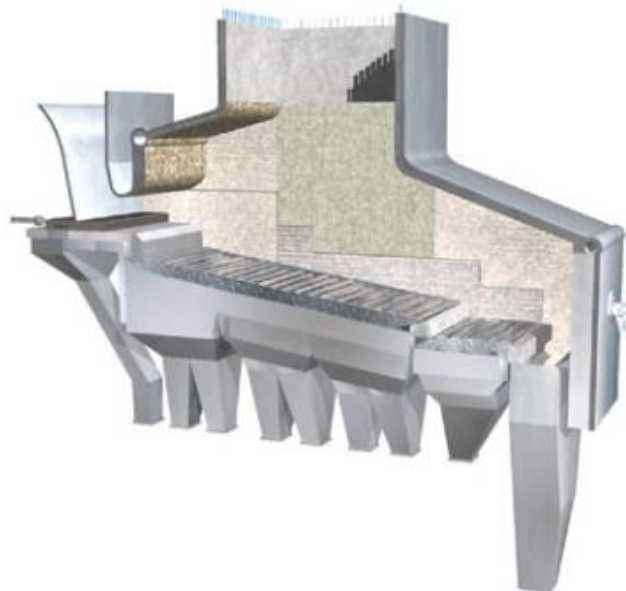
- **Assecatge dels residus:** com s'havia esmentat abans, el rendiment en la producció elèctrica augmenta quan més xicoteta és la humitat del combustible i també s'havia esmentat que, en aquesta instal·lació, l'eixida del gasos d'escapament es fa a una temperatura prou elevada i que, per tant, aquesta temperatura es podria aprofitar per eixugar els RU i així disminuir, encara més, el baix grau d'humitat que ja té per si mateix segons els càlculs realitzats adés. Aquesta instal·lació és molt senzilla i bastaria amb unes quantes canalitzacions, per on passen els gasos d'escapament, al voltant de la cinta per tal d'augmentar la temperatura i facilitar l'assecatge dels RU triturats.
- **Tremuja d'alimentació** amb un alimentador vibrant: la seua utilitat és la d'acumular el rebuig que ha d'anar al forn i, gràcies al vibrant d'alimentació, anar subministrant a la línia tot el combustible que necessite per a que el cabal siga continu i, a més, estable.

Consultant catàlegs, es decideix escollir el alimentador vibrant marca Dartek i model AA/AS capaç de subministrar fins 120 m³/h i amb unes dimensions de 1,2 x 0,5 m.



*Figura 33. Tremuja d'alimentació amb vibrant d'alimentació seleccionada
Font: Dartek [34]*

- **Forn de graella:** el nucli o part més important d'aquest sistema és el forn de graella. És ací on es produeix el procés de combustió que allibera tota l'energia calorífica per tal de produir electricitat. En aquest cas s'ha escollit un forn de graella de la marca DLSTECH model MSW que es capaç de tractar fins 200 t/d, prou per a la nostra instal·lació, i que té unes dimensions de 16,3 x 7,2 m (117 m²).



*Figura 34. Esquema del forn de graella
Font: DLSTECH*

- **Turbina de gas:** aquest sistema va en paral·lel amb el forn de graella. Està compostat de 3 etapes: compressió, combustió i expansió en la turbina.
 - *Compressió:* aquesta etapa és l'encarregada d'entrar l'aire de l'exterior i comprimir-lo per tal de què el procés de combustió estiga proveït de tot l'oxigen que necessita.
 - *Cambra de combustió:* és el forn de graella que hem nomenat abans.
 - *Turbina de gas:* és l'encarregada de transformar la força mecànica del gas en una força mecànica rotatòria i, per tant, és l'element d'unió entre el sistema de combustió i el sistema de producció d'electricitat. Aquesta turbina deu estar preparada, a més, per suportar les grans temperatures dels gasos de combustió.

Consultant catàleg, es decideix instal·lar el model D1.5C de la marca DTEC que té unes dimensions de 4,2 x 3,4 m (15 m²).

- **Dipòsit de cendres:** com a subproducte d'aquesta instal·lació es produeixen una sèrie d'escòries i cendres que, en aquest cas sí que s'hauran de dipositar en un abocador de cendres controlat. Per tant, s'haurà de proveir la instal·lació d'un dipòsit de cendres per tal d'emmagatzemar-les fins acumular prou quantitat de cendres i escòries per tal d'enviar-les a un abocador controlat. Per al dipòsit de cendres es disposarà d'un espai de 10 m².
- **Canalitzacions i cintes vàries:** són necessàries cintes que transporten el rebuig des de la planta de triatge i compostatge fins al dipòsit del rebuig (15 m de llargària aproximadament), des de la trituradora fins la tremuja d'alimentació (incorporat en la mateixa trituradora), des de la tremuja d'alimentació fins al forn de graella (5 m de llargària aproximadament) i, finalment, el transport de les cendres des del forn de graella fins al dipòsit de cendres abans mencionat (5 m de llargària aproximadament). Per a les cintes es decideix per la marca XKJ que fabrica cintes de diverses llargàries i en total s'utilitzaran uns 25 m totals de cinta.

6.2. Línia de depuració de gasos

Tal i com s'ha vist abans, la línia de depuració de gasos només necessitarà un equip per a l'eliminació de partícules:

- **Filtre electrostàtic:** Com s'ha decidit abans, el sistema de depuració de gasos de la planta constarà d'un filtre electrostàtic que, degut a la quantitat de gasos que haurà de tractar deurà estar dimensionat per tractar fins a 13.868,25 Nm³/t que, tenint en compte que s'ha calculat un flux de rebuig a tractar de 7 t/h, això resulta en què la instal·lació de depuració de gasos haurà de tractar 97.077,75 Nm³/h. Per aquesta instal·lació es tria el filtre electrostàtic IESP de la marca BOTONAIR que, com només pot tractar fins 20.000 Nm³/h, serà necessari instal·lar cinc filtres d'aquest tipus en paral·lel. Amb unes dimensions per filtre de 2 x 4 m, els 5 filtres ocuparan una àrea de 40 m².

6.3. Sistema de producció d'electricitat

Aquest és el sistema que deu transformar l'energia mecànica de rotació que té l'eix de la turbina en energia elèctrica gràcies a un generador elèctric. Així aquest sistema està compost de:

- **Generador elèctric**, que ha de tindre el seu propi sistema d'engegat elèctric automàtic, element que facilitarà la tasca d'engegada i parada de la instal·lació i millorarà la seguretat. Aquest sistema és millor opció que un sistema d'engegat manual ja que, degut a que s'anirà engegant i parant segons els torns de treball, no farà falta que hi vaja un operari cada vegada amb cables d'extensió per tal d'endollar càrregues fins arribar a la capacitat del generador.

Aquest generador elèctric també es compon del seu sistema d'excitació i, també, de la resta de sistemes i automatismes necessaris per tal de garantir la seguretat del sistema elèctric de la instal·lació.

En concret, es decideix instal·lar-hi un generador de Greef Energy model GDF que té unes dimensions de 1,4 x 1 m (s'aproxima a 2 m²).

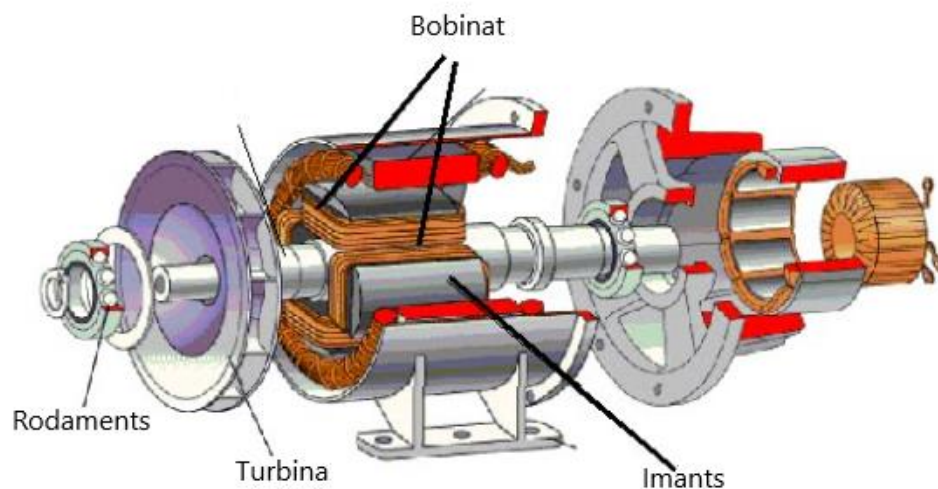


Figura 35. Esquema d'un generador elèctric
Font: [35]

- **Cablejat**: la instal·lació deu incloure tot el cablejat que ha de transportar l'electricitat produïda a la planta de triatge i compostatge. A més, per a tot el sistema de control i monitorització de la planta també serà necessari diferents tipus de connexions.
- **Sistema de control i monitorització**: per tal de facilitar el control i monitorització de la planta és necessari proveir la instal·lació d'una sala amb diferents pantalles per tal de controlar tot el procés productiu. La millor opció és la instal·lació d'un SCADA que ens permeti controlar les diferents parts de les línies de la forma més automàtica possible

mitjançant un PLC. També seria necessari una pantalla per tal de monitoritzar mitjançant un *Dashboard* tota la producció elèctrica.

Els diferents paràmetres que haurà de controlar l'SCADA són els fluxos dels residus i les engegades i parades del vibrat del sistema d'alimentació cap al sistema de combustió. També haurà de controlar les temperatures dels gasos d'escapament mitjançant algun termopar.

En quant al sistema elèctric, l'SCADA pot ajudar a controlar la potència entregada per la instal·lació i a supervisar que la temperatura del sistema elèctric se situa en valors segurs i que, en cap moment, s'arriba a valors que posen en perill la instal·lació. En cas de què alguna part de la planta no funcionés correctament o es produïra alguna fallada, el sistema automàtic s'encarregarà de parar tota la instal·lació aigües amunt, per evitar qualsevol tipus d'accident.

Per a l'oficina de control se suposa que necessita un espai d'aproximadament 10 m².

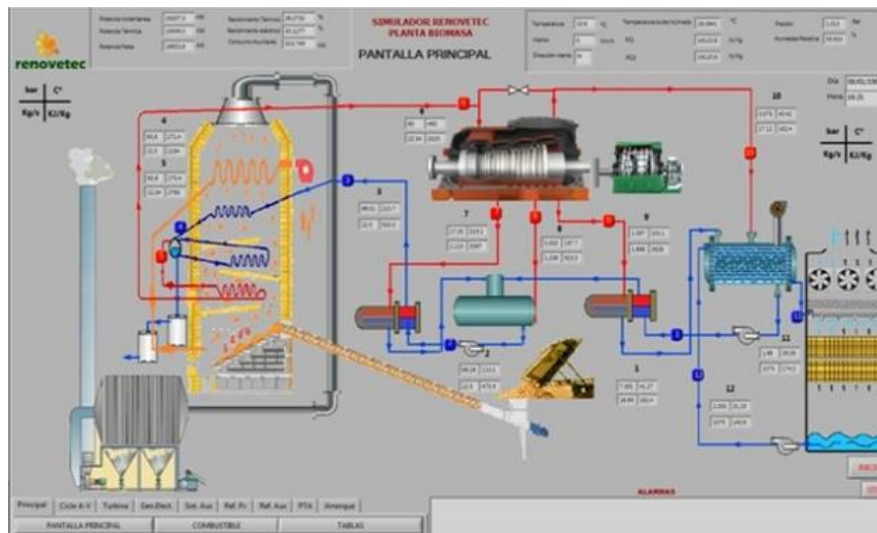


Figura 36. Exemple d'SCADA d'una central elèctrica de turbina de gas
Font: [36]

6.4. Diagrama de tota la instal·lació completa

Finalment, per tal d'aclarir com quedaria la instal·lació en el seu conjunt, es procedeix a plantejar un diagrama de fluxos on es mostren els diferents fluxos de matèria i energia (RU, aire, gas, cendres i energia) i, també, les diferents maquinàries i parts de la instal·lació per tal de veure ràpidament i d'una forma visual com interactuen els diferents sistemes (combustió de RU, depuració de gasos d'escapament i producció elèctrica).

Posteriorment, al document de plànols, s'annexarà una proposta de *layout* de la planta de valorització energètica.

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

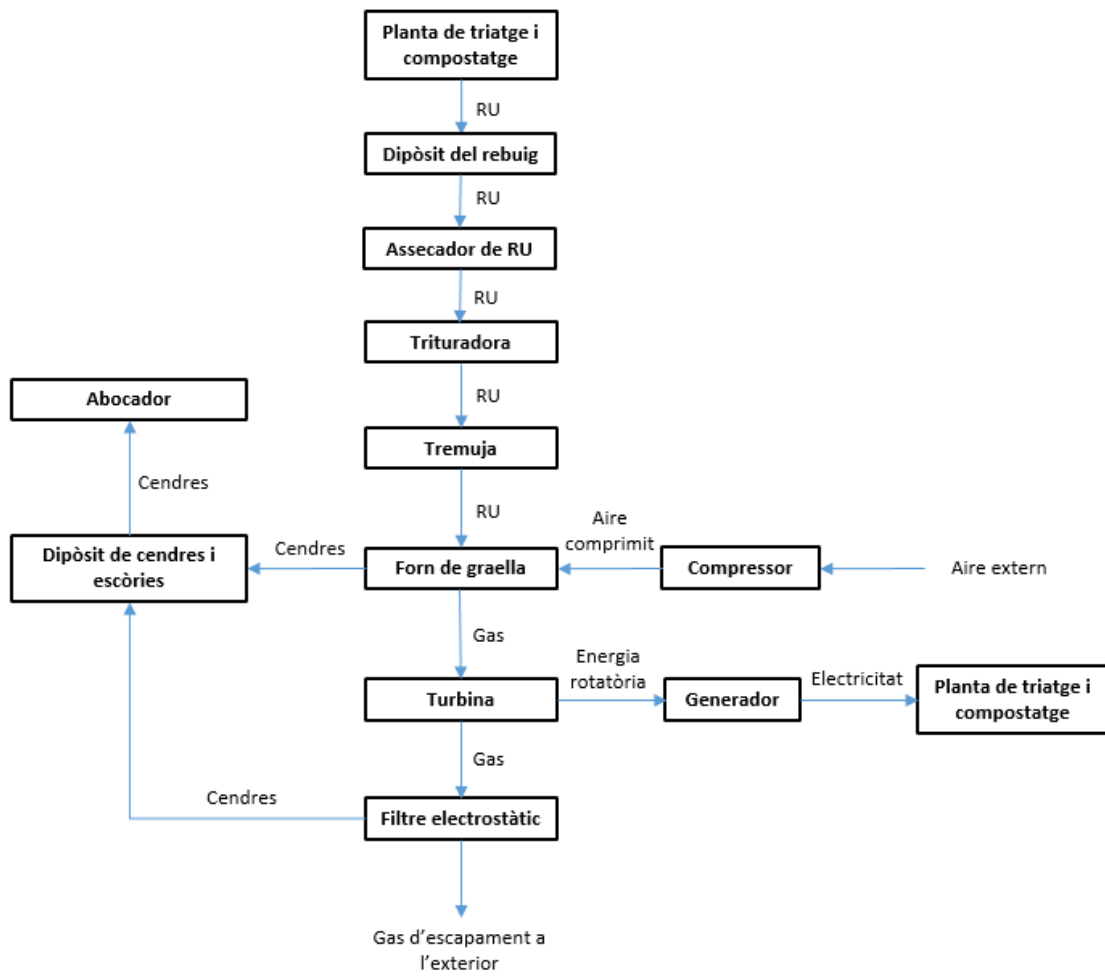


Figura 37. Diagrama de la instal·lació de valorització energètica proposada
Font: Elaboració pròpia

7. Conclusions

Després d'haver realitzat el present estudi sobre la possibilitat de valoritzar energèticament el rebuig de la planta de triatge i compostatge de Quart de Poblet conforme a les idees de l'Economia Circular per tal d'evitar que acabe dins d'un abocador, es poden inferir les següents conclusions:

- Al nostre país, el percentatge de residus que acaben dins d'un abocador és molt elevat i la valorització energètica dels RU encara és una opció minoritària en comparació amb altres països del nostre entorn.
- S'ha plantejat la promoció d'una instal·lació de valorització energètica de RU al costat d'una planta de triatge i compostatge per tal d'aprofitar el rebuig que no s'ha aconseguit triar.
- S'han definit en la planta de triatge i compostatge el processos de triatge de la planta en qüestió i els seus rendiments i s'ha esquematitzat un diagrama de fluxos dels diferents residus per tal de conèixer la part que acaba dins d'un abocador.
- S'ha revisat que els paràmetres físics són compatibles amb la valorització energètica i s'ha calculat el PCI dels residus a valoritzar.
- S'ha fet un estudi de les diferents possibilitats d'instal·lacions de generació elèctrica (mitjançant turbina de gas o mitjançant cicle combinat) analitzant les diferents avantatges que tenen i els inconvenients i s'ha triat l'opció d'instal·lar una turbina de gas; posteriorment, mitjançant els valor habituals de rendiment del generador elèctric, s'ha calculat l'energia elèctrica que seria capaç de produir aquesta instal·lació.
- S'ha plantejat la reacció de combustió per tal de conèixer els productes del procés de combustió que compondran els gasos d'escapament.
- També s'ha revisat tota la normativa (europea, estatal i autonòmica) per tal de comprovar que els valors d'emissions estan dins del que la legislació permet.
- Després de comprovar que els gasos d'escapament no compleixen la legislació vigent en matèria d'emissió de partícules, s'ha buscat com a solució la instal·lació d'un sistema de depuració mitjançant filtres electrostàtics.
- Per concloure la memòria s'han determinat les diferents màquines, cintes transportadores, equips i elements que necessitarà la planta de valorització energètica amb la finalitat de realitzar una bona estimació de les dimensions d'aquestes per tal de què els diferents processos es puguin realitzar sense cap mena de problema i, a més, per tal de fer una proposta el més detallada i exacta possible de com ha de ser la distribució en planta de les diferents parts de les que es compona la instal·lació (plànols).
- Després de conèixer la maquinària que compondrà la instal·lació i, per tal de clarificar els diferents processos que s'han de dur a terme, s'ha esquematitzat tot el procés amb un diagrama on es mostren els diferents fluxos per les maquinàries i l'ordre de col·locació d'aquestes.

- Finalment s'ha procedit a pressupostar aquesta instal·lació. També s'ha valorat l'estalvi econòmic degut a l'energia que es deixarà de consumir de la xarxa elèctrica per tal de poder calcular correctament el període d'amortització d'aquest projecte i, en definitiva, conèixer la viabilitat econòmica d'aquest sense oblidar, per suposat, la vessant ecològica i mediambiental d'aquest. Els càlculs efectuats indiquen que el projecte és viable econòmicament.

8. Bibliografia

[1] Ellen Macarthur Foundation (01/04/2018)

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/schools-of-thought>

[2] The Performance Economy (03/04/2018)

<http://product-life.org/en/major-publications/performance-economy>

[3] Biomimicry (04/04/2018)

<https://biomimicry.net/our-work/natures-ideas-cleaner-oil-gas/>

[4] Biomimicry (04/04/2018)

<https://biomimicry.net/our-work/energy-efficient-desert-living/>

[5] Paul Hawken, Amory Lovins y L. Hunter Lovins, *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution* (2000) Editorial Back Bay Books (Nova York)

[6] Gunter Pauli, *The Blue Economy* (2010) Editorial Bertrams (Norwich)

[7] BOE, Llei 22/2011, de 28 de juliol, de residus i sòls contaminants

[8] Eurostat, *Estadísticas sobre residuos* (10/04/2018)

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/es

[9] BOE, Reial Decret 653/2003, de 30 de maig, sobre incineració de residus

[10] IDAE, *Situación y potencial de valorización energética directa de residuos* (22/04/2018)

<https://env.cpp.edu/rs/rs>

[11] DOUE, Directiva 2008/98/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 19 de novembre de 2008, sobre els residus

[12] Llei 16/2002, de l'1 de juliol, de Prevenció i Control Integrats de la Contaminació

[13] DOUE, Directiva 1999/31/CE, del 26 d'abril de 1999, relativa a l'abocament de residus

[14] Estratègia Valenciana davant el Canvi Climàtic 2013-2020. Mitigació i Adaptació (05/05/2018)

<http://www.agroambient.gva.es/documentos/163279113/163282680/EVCC+2013-2020/e3dbb4a0-aaf4-49b9-81df-297028076b47;version=1.1>

[15] Objectius de Desenvolupament Sostenible (06/05/2018)

<http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/cambio-climatico/>

[16] Confederation of European Waste-to-Energy Plants (08/05/2018)

<http://www.cewep.com>

[17] Bionord (03/06/2018)

<http://www.bionord.es/es/vertido-0/objetivo-vertido-0>

[18] Entitat Metropolitana de Tractament de Residus (24/06/2018)

<http://emtre.es/instalaciones/hornillos/>

[19] Metropolis (24/06/2018)

https://www.metropolis.org/sites/default/files/2005_C3-Residuos-solidos-urbanos-ESP.pdf

[20] Ecoembes (28/10/2018)

https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/plantas-de-seleccion-de-envases-ligeros.pdf 28/10/2018

[21] <http://www.jaimevera.tecnioes.com/ti1/energia3.html> (07/12/2018)

[22] BOE, Reial Decret 815/2013, de 18 d'octubre, pel qual s'aprova el Reglament d'emissions industrials i de desenvolupament de la llei 16/2002, de 1 de juliol, de prevenció i control integrats de la contaminació

[23] BOE, Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el règim de comerç de drets d'emissió de gasos d'efecte hivernacle

[24] BOE, de 25 de novembre de 2006, Pla nacional d'assignació de drets d'emissió 2008-2012

[25] BOE, de 5 d'abril de 2013, Acord de Consell de Ministres pel qual s'aprova l'assignació individual de drets d'emissió

[26] Trituradora UNTHA (25/01/2019)

https://www.untha.com/es/trituradores/trituradores/xr2000/3000_p41

[27] BAM Construct UK (26/01/2019)

<http://www.sustainability.bam.co.uk/>

[28] DOUE, Directiva 2000/76/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 4 de desembre del 2000, relativa a l'incineració de residus

[29] Google Maps

<https://www.google.es/maps>

[30] Residuos Profesional (01/02/2019)

<https://www.residuosprofesional.com/un-proyecto-de-cogersa-para-reducir-las-emisiones-en-la-gestion-de-residuos-seleccionado-como-proyecto-clima-2013/>

[31] http://www.wikiwand.com/fr/Cycle_de_Brayton (01/02/2019)

[32] https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_de_gas (01/02/2019)

[33] Omer Group (02/02/2019)

<http://www.omergruop.com/es/>

[34] Dartek (02/02/2019)

<http://www.dartek.es>

[35] <https://sites.google.com/site/046tecnologia/turbina-generator> (02/02/2019)

[36] Plantas de biomasa (03/02/2019)

<http://www.plantasdebiomasa.net>

DOCUMENT II

PRESSUPOST

1. Pressupost d'implantació

Després d'haver fet els càlculs tècnics de la planta de valorització energètica del rebuig de la planta de triatge i compostatge de Quart de Poblet, és a dir, una mena de valoració del projecte des d'un punt de vista tècnic i mediambiental, ara s'ha de realitzar el pressupost d'aquest. El pressupost d'implantació és, en aquest cas, la valoració de la viabilitat econòmica d'aquest projecte tenint en compte tots els tipus de costos que pot tindre.

El pressupost d'implantació total serà el que, per tant, haurà de pagar la empresa que vol construir aquesta instal·lació que, en aquest cas, es tracta de la Entitat Metropolitana per al Tractament de Residus (EMTRE).

No obstant això, s'ha de tindre en compte que, en aquest cas, la finalitat del projecte és la d'aprofitar mitjançant la valorització energètica el rebuig que de no ser per aquesta instal·lació, s'enviaria directament a un abocador; per tant, la finalitat d'aquesta més que el benefici econòmic serà el benefici mediambiental. Per tant, hauria de tindre preferència la visió ecològica de cara al plantejament d'aquest projecte.

Així, els diferents costos es poden classificar en:

- Costos d'enginyeria
- Costos materials
- Costos de formació dels operaris

Finalment, es podrà conèixer el cost total i, per tant, la viabilitat econòmica del projecte i el període d'amortització, és a dir, en quants anys s'haurà recuperat (degut als estalvis que produirà aquesta planta) la inversió realitzada.

1.1. Costos d'enginyeria

Els costos d'enginyeria son tots aquells derivats del cost de redacció del projecte. Per tant, inclouen tant els costos pel sou dels professionals de l'enginyeria, no només el grup d'enginyers encarregat del projecte, sinó també els costos proporcionals d'altres membres de l'enginyeria com poden ser el gerent o personal administratiu.

A banda, també s'haurà d'incloure els costos derivats dels desplaçaments (i respectives dietes) que hagen de realitzar els enginyers a la planta de triatge i compostatge de Quart de Poblet amb la finalitat de prendre mostres del rebuig que s'envia a l'abocador per tal de conèixer el seu poder calorífic inferior (PCI), veure el terreny on se situarà la planta i arregar diverses dades que ajuden a elaborar la memòria del projecte. Aquests costos de desplaçament a la planta de Quart de Poblet se suposaran que són des de València Cap i Casal, uns 70 euros per desplaçament d'anada i tornada més dietes.

Així, els costos d'enginyeria es podrien resumir en les Taules 1 i 2.

Taula 1. Costos del personal
Font: Elaboració pròpia

PRESSUPOST DEL PERSONAL			
Empleats	Hores	Remuneració (€/h)	Cost total (€)
Gerent	35	50	1.750
1er enginyer	80	40	3.200
2on enginyer	70	30	2.100
Ajudant tècnic	90	20	1.800
Personal administratiu	160	20	3.200
		TOTAL	12.050

Així, els costos del personal pel salari ascendeixen a 12.050 €. Ara es calcularan els costos de desplaçaments i dietes, el pressupost dels quals ascendeix a 1.050 €.

Taula 2. Costos de desplaçaments i dietes
Font: Elaboració pròpia

PRESSUPOST DE DESPLAÇAMENTS I DIETES			
Conceptes	Nombre de desplaçaments	Cost jornada (€)	Cost total (€)
Desplaçament i dietes	15	70	1.050

Així, en total, el cost d'enginyeria ascendeix a **13.100 €**.

1.2. Costos de material

Els costos materials són els que suposen un major percentatge dins del total de la inversió de qualsevol projecte d'aquest tipus on s'ha de comprar gran part o la totalitat de la maquinària, la resta d'instal·lacions i, a banda, els terrenys (en cas de què siga necessari).

En aquest cas, l'EMTRE s'estalviarà els costos de compra de terrenys ja que la futura planta de valorització energètica de RU s'instal·larà al costat de la planta de triatge i compostatge de Quart de Poblet, en uns terrenys adjacents que pertanyen a la pròpia planta.

En quant a la nau on s'ubicarà tota la maquinària, com el seu càlcul estructural i de diferents tipus d'instal·lacions queden fora de l'abast del present treball s'estimarà el seu cost mitjançant el pressupost aproximat d'una enginyeria especialista en la matèria [1]. Així, per a una nau de 1000 m² de superfície amb una altura d'aler de 10 metres per a ús industrial amb estructura de pòrtic a dos aigües de formigó amb un tancament també de formigó de 20 cm de gruix i una coberta metàl·lica de 0,7 mm de gruix i, a més, amb tota la instal·lació completa d'escomeses, il·luminació i electricitat i un pont grua de 5 tones per al polp oleohidràulica, el cost de la nau ascendeix a 272.000 €.

A la Taula 3, es calcula el cost complet del material, on s'inclou tant la nau com els equips necessaris per a efectuar la valorització energètica.

Taula 3. Costos de material

Font: Elaboració pròpia

PRESSUPOST DE LA MAQUINÀRIA			
Element	Unitats	Cost unitari (€/u)	Cost total (€)
Trituradora UNTHA XR2000	1	130.000	130.000
Cintes XKJ	1	7.500	7.500
Nau industrial	1	272.000	272.000
Forn Graella DLSTECH	1	150.000	150.000
Vibrant Dartek	1	50.000	50.000
Precipitador electrostàtic BOTONAIR	5	44.000	220.000
Turbina gas DTEC	1	120.000	120.000
Generador elèctric Greef	1	128.000	128.000
Obra dels dipòsits de rebuig i de cendres	1	10.000	10.000
TOTAL			1.087.500

Així, en total, el cost de material ascendeix a **1.087.500 €**.

1.3. Costos de formació dels operaris

Els costos de formació serà la inversió que l'EMTRE deurà realitzar per formar als operaris que tinga planificat enviar a treballar a la nova instal·lació per tal de què tinguin els coneixements necessaris del funcionament, control, monitorització, revisió i manteniment (tant preventiu com per avaria) de tota la planta de valorització energètica de residus urbans.

La formació deurà ser impartida per una o més empreses externes (ja que aquesta formació la poden donar els propis proveïdors de les diferents maquinàries de la nova instal·lació) i es divideix en sessions formatives i cursos intensius que s'impartiran tant a l'empresa que vol realitzar el projecte com a la mateixa enginyeria que el redacta.

Aquests costos de formació dels operaris es poden resumir en les Taules 4 i 5.

*Taula 4. Pressupost de les sessions formatives
Font: Elaboració pròpia*

PRESSUPOST DE SESSIONS FORMATIVES			
Sessions formatives	Hores	Cost (€/sessió)	Cost total (€)
8	5	350	2.800
TOTAL			2.800

*Taula 5. Pressupost de cursos intensius
Font: Elaboració pròpia*

PRESSUPOST DE CURSOS INTENSIVS			
Cursos intensius	Hores	Cost (€/curs)	Cost total (€)
2	8	1.500	3.000
TOTAL			3.000

Així, sumant els costos de les sessions formatives més la dels cursos intensius s'arriba a un cost total de formació dels treballadors de **5.800 €**.

1.4. Pressupost d'implantació total

El pressupost d'implantació total és la suma dels diferents costos abans desglossats per parts i que suposa el cost total d'implantació de la instal·lació projectada.

*Taula 6. Pressupost d'implantació total
Font: Elaboració pròpia*

PRESSUPOST D'IMPLANTACIÓ TOTAL	
Tipus de cost	Cost (€)
Cost d'enginyeria	13.100
Cost de material	1.087.500
Cost de formació	5.800
TOTAL	1.106.400

Com es pot veure a la taula 6, el pressupost d'implantació total ascendeix a un total de **1.106.400 €**.

2. Pressupost total

El pressupost total, finalment, es calcula tenint en compte els costos generals que s'estimen en aproximadament un 13% afegit del cost d'implantació total i, a més l'IVA general, que a Espanya és actualment d'un 21%.

Taula 7. Cost total del projecte

Font: Elaboració pròpia

PRESSUPOST TOTAL	
Tipus de cost	Cost (€)
Cost d'implantació total	1.106.400
IVA (21%)	232.344
Costos generals (13%)	143.832
TOTAL	1.482.576

Així, el cost total d'aquest projecte és **d'un milió quatre cents huitanta dos mil cinc cents setanta sis euros**.

3. Estalvi i període d'amortització

Després de calcular el cost total de la nova instal·lació de valorització energètica, es procedeix a calcular l'estalvi econòmic que produirà aquesta instal·lació ja que ajudarà a reduir el consum elèctric de la planta de triatge i compostatge de Quart de Poblet.

Per tal de fer el càlcul s'utilitza el preu mitjà actual de l'energia elèctrica que està al voltant dels 0,10171 €/kWh [2] i, a banda, la totalitat d'energia elèctrica abans calculada (107.875.500 kWh a l'any).

Com l'energia produïda és molt superior a l'energia que consumeix la planta de triatge i compostatge (15.000.000 kWh/any), es plantegen dos casuístiques.

La primera, i més favorable, és que com l'EMTRE té més instal·lacions repartides per la mateixa zona, amb una legislació favorable a l'autoconsum que ha d'arribar per adaptar la legislació actual als estàndards europeus, tota l'energia sobrant s'abocaria a la xarxa elèctrica per tal de què pugui arribar a les altres instal·lacions o que, fins i tot es pugui vendre. Així, l'estalvi econòmic seria de **10.972.017 €** a l'any i el període d'amortització seria de menys de 2 mesos, dada que faria molt viable econòmicament aquest projecte.

No obstant això, la legislació vigent no és tant permissiva amb l'autoconsum així que, en el pitjor dels casos, només es podrà aprofitar l'energia que consumeix la pròpia planta de triatge i compostatge que, com s'havia esmentat abans, és de 15.000.000 kWh/any. Açò suposaria un estalvi anual de **1.525.650 €** i, per tant, el període d'amortització seria aproximadament d'1 any. Aquest període d'amortització també fa completament viable econòmicament el projecte objecte d'aquest treball.

4. Referències


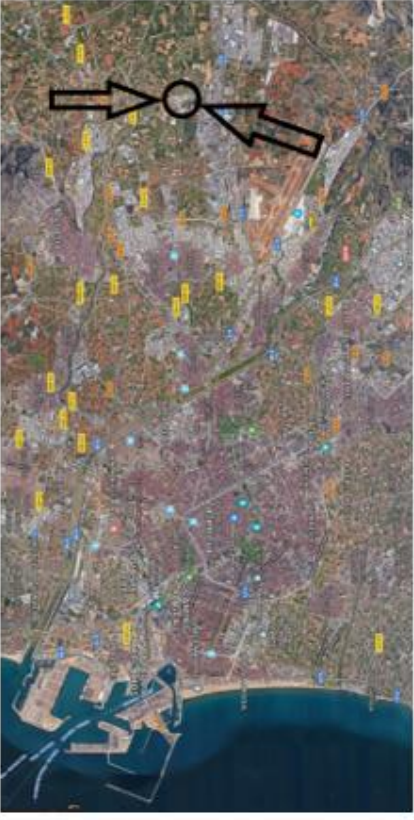

[1] La Ingenieros (26/01/2019)
<https://laingenieros.com/naves-industriales/>

[2] Tarifa luz horaria (09/02/2019)
<https://tarifaluzhora.es/>

DOCUMENT III

PLÀNOLS

DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA

 <p>industrials valència</p> <p>ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA INDUSTRIALS UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	<p>Projecte: DISSENY D'UNA INSTAL·LACIÓ PER PRODUIR ENERGIA ELÈCTRICA EN UNA PLANTA DE TRIATGE I COMPOSTATGE A PARTIR DEL REBUIG GENERAT EN ELLA</p>	<p>Planell: Localització de la parcel·la seleccionada</p>	<p>Data: Gener 2018</p> <p>Escala: Diferents</p>	<p>Nº de planell: 1</p>	
<p>Escala 1/200000</p>		<p>Escala 1/10000</p>		<p>Escala 1/5000</p>	