



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERS
INDUSTRIALS VALÈNCIA

Curs Acadèmic:

RESUM

El present Treball Final de Grau aborda la problemàtica de l'incessant augment de residus urbans arreu del món mitjançant l'estudi d'alternatives per reduir-ne la quantitat que acabe als abocadors controlats.

Partint de les composicions dels residus urbans que arriben a les plantes de triatge i compostatge, s'han presentat inicialment els distints diagrames i balanços de matèria per estudiar i determinar els percentatges de cada fracció recuperats a les plantes i obtenir la composició del rebuig final. Una vegada coneguda la composició del rebuig s'han plantejat alternatives en termes de reducció (*a priori*) i de gestió del rebuig (*a posteriori*). Finalment s'ha optat per la conversió de l'esmentat rebuig en un combustible alternatiu (CDR) que pugui substituir, en la mesura del possible, els combustibles fòssils convencionals als forns de clínquer de la indústria cimentera.

Triada la solució, s'ha procedit a fer-ne l'estudi corresponent, és a dir, s'ha avaluat si els paràmetres, ja siguin físics (PCI, granulometria, densitat) o químics (concentracions d'elements nocius), compleixen amb els requisits necessaris. Tot seguit, s'han calculat les emissions de contaminants provocades tant per l'ús de CDR com pel carbó emprat a les cimenteres, per tal d'estimar els rendiments dels equips depuradors de gasos necessaris per a cadascun dels contaminants.

En última instància, s'ha determinat la maquinària necessària a la planta de triatge i compostatge per pretractar del CDR i s'han estudiat factors com ara la variació estacional dels residus o la màxima substitució teòrica de carbó per CDR.

Recopilant els resultats de cadascun de les anàlisis parcials, s'ha arribat a la conclusió de què el CDR és una opció totalment vàlida com a substitutiu del carbó a les cimenteres i que, a més, redueix les emissions d'efecte hivernacle; però, per tal de dur a terme aquesta operació resulta necessària l'adquisició de maquinària amb un cost significatiu.

Paraules clau: CDR, cimentera, planta de triatge i compostatge.

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado aborda la problemática del incesante aumento de residuos urbanos mediante el estudio de alternativas para reducir la cantidad que acaba en los vertederos controlados.

Partiendo inicialmente de la composición de los residuos urbanos que llegan a las plantas de selección y compostaje, se han presentado distintos diagramas y balances de materia para estudiar y determinar los porcentajes de cada fracción recuperados en las plantas y obtener la composición del rechazo final. Conocida la composición del rechazo, se han planteado alternativas en términos de reducción (*a priori*) y gestión del rechazo (*a posteriori*), optando finalmente por la conversión del citado rechazo en un combustible alternativo (CDR) que pueda sustituir, en la medida de lo posible, a los combustibles fósiles convencionales en los hornos de clínker de la industria cementera.

Elegida la solución, se ha realizado el estudio de la misma, evaluando si los parámetros, físicos (PCI, granulometría, densidad) o químicos (concentraciones de elementos nocivos), cumplen con los requisitos necesarios. Posteriormente, se han calculado las emisiones de contaminantes provocadas por el uso de CDR y por el carbón usado en las cementeras, estimando de ese modo los rendimientos de los equipos depuradores de gases necesarios para cada contaminante.

Asimismo, se ha determinado la maquinaria necesaria en la planta de selección y compostaje para pretratar el CDR y se han estudiado factores como la variación estacional de los residuos o la máxima sustitución teórica de carbón por CDR.

Recopilando los resultados de cada uno de los análisis parciales, se ha llegado a la conclusión de que el CDR es una opción totalmente válida como sustitutivo del carbón en las cementeras y que, además, reduce las emisiones de efecto invernadero; sin embargo, para llevar a cabo esta operación resulta necesaria la adquisición de maquinaria con un coste significativo.

Palabras clave: CDR, cementera, planta de selección y compostaje.

ABSTRACT

This Final Degree Work is focused on the problem of the ever-increasing amount of urban waste worldwide by studying ways of reducing the share of that waste that ends up in landfills.

Based on the composition of urban waste arriving at sorting and composting plants, firstly, various diagrams and material balances have been presented to determine and study the percentages of each fraction are recovered in the plants and thereby obtain the final rejection composition. Once known the composition of final rejection, several alternatives have been raised in terms of reduction (before) and in terms of waste management (after); and finally it has been decided to convert that waste into an alternative fuel (CDR) to replace, as far as possible, the conventional fossil fuels used in the clinker kilns at the concrete industry.

Once the solution has been chosen, it has been assessed whether the physical (PCI, grain size, density) or the chemical (concentrations of harmful elements) parameters meet the necessary requirements. Next, the pollutant emissions caused by the use of both CDR and coal have been calculated to estimate the pollutant debuggers efficiency for each pollutant gas.

Ultimately, it has been determined the equipment needed at the selection and composting plants for the CDR pretreatment; and studied factors such as seasonal variation or the maximum amount of coal that could be replaced by CDR.

Compiling the results of each partial analysis, it has been concluded that the CDR is an entirely valid option as a coal substitutive at concrete plants and it also reduces the greenhouse gas emissions. However, to carry out the process, the acquisition of machinery is needed at significant cost.

Keywords: CDR, concrete plant, selection and composting plant.

ÍNDEX

DOCUMENTS CONTINGUTS AL TFG

- Memòria descriptiva
- Pressupost
- Apèndix

ÍNDEX DE LA MEMÒRIA DESCRIPTIVA

| | |
|--|----|
| 1. Introducció | 17 |
| 1.1. Objecte i justificació del treball | 17 |
| 1.2. Antecedents | 18 |
| 1.3. Context teòric: l'economia circular..... | 19 |
| 1.2. Context pràctic: residus | 22 |
| 1.2. Context pràctic: gestió i normativa | 27 |
| 2. Localització de l'estudi | 36 |
| 2.1. La planta de triatge i compostatge | 36 |
| 2.1.1. Característiques generals de la planta | 36 |
| 2.1.2. Esquema de la planta | 37 |
| 2.1.3. Balanç de matèria de la planta | 42 |
| 2.1.4. Càlcul de la composició del rebuig..... | 43 |
| 2.2. Conclusions | 45 |
| 3. Cerca d'alternatives | 46 |
| 3.1. Anàlisi de la situació i procediments d'actuació | 46 |
| 3.2. Els CDR/CSR | 48 |
| 3.3. Els CDR en la indústria del ciment | 50 |
| 3.4. Pros i contres de la valorització dels CDR en la indústria del ciment | 51 |

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| | |
|---|----|
| 3.5. Conclusions | 53 |
| 4. Estudi de la utilització del CDR en una cimentera..... | 53 |
| 4.1. Paràmetres físics i químics del CDR | 53 |
| 4.1.1. Poder Calorífic Inferior (PCI) | 55 |
| 4.1.2. Humitat | 56 |
| 4.1.3. Concentracions d'elements generadors d'emissions | 57 |
| 4.1.4. Granulometria i densitat | 57 |
| 4.2. Emissions en la cimentera | 58 |
| 4.2.1. Legislació | 58 |
| 4.2.2. Càlcul de les emissions de gasos | 59 |
| 4.2.3. Càlcul de les emissions de partícules | 71 |
| 4.2.4. Anàlisi del CO ₂ emès per la cimentera | 71 |
| 4.2.5. Simplificacions efectuades en els càlculs | 74 |
| 4.3. Estimació del rendiment dels equips de tractament de les emissions | 75 |
| 4.4. Estimació de la densitat mínima del CDR | 78 |
| 4.5. Anàlisi de l'estacionalitat del CDR | 79 |
| 4.6. Substitució màxima teòrica del carbó per CDR | 80 |
| 5. Maquinària a utilitzar | 82 |
| 5.1. Descripció de les màquines | 82 |
| 5.2. Capacitat, nombre i disposició de les màquines necessàries | 84 |
| 6. Conclusions | 86 |
| 7. Referències bibliogràfiques..... | 87 |

ÍNDIX DEL PRESSUPOST

| | |
|---|----|
| 1. Pressupost d'implantació | 91 |
| 1.1. Costos d'enginyeria..... | 91 |
| 1.2. Costos materials | 92 |
| 1.3. Costos de formació | 93 |
| 1.4. Pressupost d'implantació total | 94 |
| | |
| 2. Pressupost total | 95 |

ÍNDIX DE L'APÈNDIX

| | |
|--|----|
| Apèndix : Informació addicional del PIRCV..... | 97 |
|--|----|

DOCUMENT I

MEMÒRIA DESCRIPTIVA

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

1.Introducció

“EN L'HOME ÉS INNATA LA REPUGNÀNCIA A LES MALES OLORS PRODUIDES PER LA MATÈRIA RESIDUAL, i en totes les èpoques ha tractat d'allunyar-la. Aquest allunyament s'ha de fer d'una manera econòmica i amb el màxim efecte útil possible (...). Per això mateix, un bon sistema d'evacuació ha de tenir les condicions següents: 1era. Els bacteris infecciosos han d'allunyar-se per complet i quedar inofensius perquè no hi haja ninguna difusió ni per les matèries que es troben a les cases, per la seua proximitat, ni per la superfície del sòl o l'aigua dels pous. 2ona. Els gasos mefítics de la putrefacció s'han d'allunyar de les habitacions. 3era. L'aigua del subsòl i la dels rius no s'ha de contaminar mai ja que del contrari, quedarà inservible. 4arta. El terreny no ha de contaminar-se de manera que pugua produir males olors. 5ena. El sistema deu de satisfer les suposades condicions estètiques. 6ena El sistema que estiga en condicions de satisfer les condicions 1era i 4arta ho ha de fer d'una manera econòmica (...)[1].

1.1 Objecte i justificació del treball

La societat evoluciona tecnològicament a un ritme cada vegada més ràpid i extraordinari. Qualsevol part de l'activitat humana es veu complimentada i facilitada pels avanços tècnics i tecnològics descoberts i modernitzats sobretot en els darrers 170 anys, els corresponents al període conegut com a “segona revolució industrial”. Els processos i les tecnologies emprades no fan més que desenvolupar-se oferint possibilitats inimaginables fins ara. No obstant això, aquest desenvolupament ha ocasionat problemes greus a l'entorn. Les emissions d'efecte hivernacle i els residus derivats de les activitats de consum han assolit màxims històrics que obliguen aquesta societat tecnològica a l'establiment de plans d'actuació directa per reconduir un panorama ambiental insostenible.

En el context de l'economia circular, aquest treball abordarà la problemàtica que suposa l'increment en la generació dels residus urbans i assimilables, més coneguts com RU, els quals han experimentat una forta tendència d'augment durant els últims 50 anys degut fonamentalment a dos motius. D'una banda, l'augment demogràfic s'ha traduït en un major consum i conseqüentment en una major producció de residus. No obstant això, aquesta no és la causa principal de l'augment dels RU, ja que els avanços tecnològics en la conservació de béns de consum, la tecnologia “d'usar i tirar” i “l'híper consumisme” han provocat un augment en la producció de residus a uns nivells altíssims.

Partint de la necessitat d'una actuació immediata i necessària i amb la mirada posada en el compliment dels distints Plans i normatives actuals i futurs, s'analitzarà la situació actual de la producció i sobretot de la gestió integral d'aquests residus urbans d'una planta de triatge i compostatge ubicada en l'àrea metropolitana de València, de la qual se n'estudiaran els processos duts a terme des de l'arribada fins a l'obtenció de la denominada fracció rebuig (la qual és actualment enviada per complet a un abocador controlat) per a després estar en disposició de plantejar un seguit d'alternatives en la línia de la reducció i del reciclatge(*a priori*) però també en la

línia del triatge de la planta, valorització o abocament de part de la fracció rebuig no recuperable(a posteriori).

Finalitzat aquest procés de valoració d'alternatives, es desenvoluparà la triada per complir amb els objectius esmentats anteriorment i es farà tant una valoració econòmica com un xicotet estudi a mode de conclusió sobre l'impacte en la disminució del residu final que aquesta alternativa aporta al problema.

1.2 Antecedents

Els residus i la seua gestió són un assumpte gairebé tan antic com la pròpia vida humana. Més enllà del que succeïra amb altres civilitzacions anteriors, va ser la romana la que es considera la més preocupada per les seues "deixalles". Ja a les viles romanes, els residus que es considerava que ja no es podien reutilitzar ni reciclar ni conservar(aigües sobrants, matèries fecals i residus sòlids de tot tipus), eren destinats a les infraestructures que actualment coneguem com abocadors, salvant les diferències clar està.

Pel que sembla, va ser durant el Baix Imperi i amb l'Antiguitat Tardana quan es comença a observar el deteriorament o la pèrdua dels sistemes públics d'eliminació de residus urbans, una cosa que s'aguditzaria a les èpoques posteriors. Així, de les ciutats medievals se sol dir que eren brutes, plenes de immundícies i que feien pudor.

Tot i això, i malgrat la preocupació respecte a aquestes restes, l'acumulació de residus i els inconvenients associats no van aconseguir solucionar-se de forma mitjanament acceptable. Mancant un entramat institucional i de serveis com l'existent a l'època romana, les solucions es deixaven a mans de cada persona i, en general, es recorria a dipòsits més o menys distants que eren coneguts amb el nom de "muladars" (l'equivalent a les nostres escombraries, abocadors o femers).

Així doncs, els "muladars", i també pous negres per a altres restes, van ser els llocs destinats a tot tipus de deixalles, una cosa que sense substancials modificacions es va mantenir al llarg de l'Edat Moderna. En conseqüència, és difícil apreciar avanços notoris en salubritat a les ciutats europees, almenys fins a ben entrat el segle XVIII. Les capitals mancaven d'una xarxa general de clavegueres i el seu equipament solia limitar-se a una obertura central o lateral als carrers principals per on discorrien les aigües domèstiques i el vessament pluvial. Per tant, va caldre esperar fins a finals de la centúria, amb el triomf de l'ideal il·lustrat, perquè els ajuntaments començaren a elaborar ordenances municipals de millores en tal sentit, una cosa que està relacionada amb els periòdics problemes de salubritat que es vivien, amb epidèmies de tot tipus. Amb tot, aquesta preocupació, la de l'higienisme, animada sobretot per metges que vinculaven el desenvolupament de les malalties amb l'entorn ambiental i el mitjà social, no es va imposar fins a bé avançat el segle XIX.

Per tant, és en aquest segle quan, amb el nou ordre liberal i burgès i la seua preocupació per la salut i el benestar, es fixa un model modern de ciutat que es mantindrà fins a quasi mitjans del segle XX. En aquest context, arquitectes i enginyers civils es van mostrar compromesos amb les tasques de sanejar, construir infraestructures i reformar. Apareix fins i tot el terme "d'enginyeria sanitària" i es reclamen intervencions responsables dels ajuntaments, seguint diverses teories sobre microbiològica i medicina preventiva [2]. No és estrany que així fora, perquè el segle XIX va ser una

centúria de revolució industrial i dels transports, d'emigració des del camp a la ciutat i, per tant, d'intensa urbanització. Però, tot i això, no va ser fins a principis del segle XX quan es va assentar la idea del sanejament integral de les ciutats, és a dir, la necessitat d'atendre a la recollida segura de materials de deixalla, la seua evacuació ràpida i, finalment, el tractament dels residus.

És d'important rellevància l'aparició del terme "enginyeria sanitària", que com ve a indicar el propi adjectiu, es preocupava dels residus en tant afectaren directa i immediatament la salut humana. Aquesta terminologia va ser desenvolupada per l'enginyer Italià Donato Spataro, el qual va publicar diversos tractats sobre higienisme i va col·laborar en diversos projectes tècnics. Cal destacar que en 1890 va començar a publicar a Torí la primera revista especialitzada en l'assumpte, denominada, valga la redundància, "Enginyeria sanitària"[3].

Així doncs i en la manera en la qual els residus només plantejaven un problema sobre la salut humana, durant diverses dècades aquests es van considerar merament alguna cosa a eliminar, una simple resta, sense valor de cap tipus i no va ser fins als anys seixanta, en despertar la consciència mediambiental, quan aquest significat va començar a canviar.

1.3 Context teòric: l'economia circular

Aquest canvi no és, doncs, sobtat, es produeix a poc a poc i a ell contribueixen diferents teories que van apareixent al llarg del segle passat. Els referents són varis i distints, però interconnectats. D'una banda, el matemàtic i economista Nicholas Georgescu-Roegen, Immers en la intensa presa de consciència ecologista dels anys seixanta i setanta, comença a desenvolupar una nova teoria econòmica a la qual anomenarà bioeconomia [4]. Aquest nou camp pren en consideració els principis físics de la termodinàmica, d'una banda, i de la biologia, per altra.

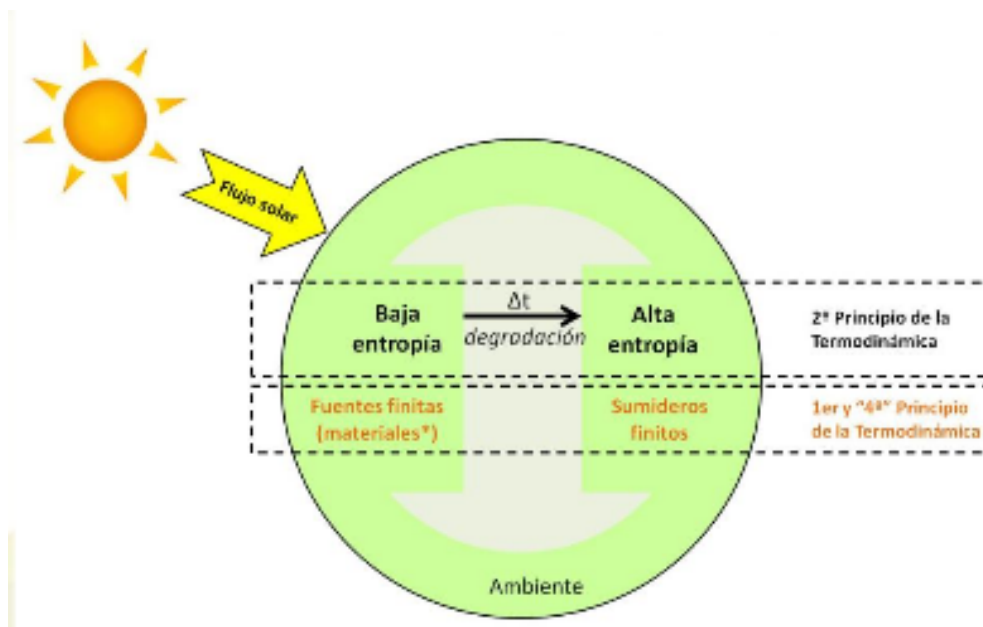


Figura I.1 el procés econòmic, segons Georgescu-Roegen.

Font: Luis M. Jiménez Herrero, "Economía circular y nuevas economías", en *Jornada sobre Economía circular y desarrollo humano*. Madrid, 13/11/2015.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Basat en la idea de biosfera també es troba el concepte “*Cradle to Cradle*” (del Bressol al Bressol), que desenvoluparen en els noranta l'arquitecte nord-americà William McDonough i el químic alemany Michael Braungart. Es tracta d'una filosofia del disseny segons la qual els materials implicats en qualsevol procés industrial i comercial han de ser considerats com nutrients i, per tant, han de classificar-se segons siguin tècnics o biològics, dins d'una tecnosfera. A diferència de l'enfocament tradicional centrat en la reducció dels impactes negatius, aquesta proposta se centra en l'impacte positiu que generen els fluxos de productes. *“Per a certs productes, la durabilitat no és l'estratègia òptima ja que acaben a les escombraries o són difícilment recuperables mitjançant reciclatge : és preferible dissenyar béns de consum de tal manera que la puresa del material es mantingui i els seus components siguin fàcilment regenerats o retornats a la terra”*[5]. Aquesta perspectiva es desplega en tres principis:

- a) tot residu és un recurs, de manera que ha de dissenyar-se de perquè els seus components puguin ser aprofitats una vegada acabada la seua vida útil;
- b) el sistema depèn de fonts d'energia renovables que han de complir el principi anterior;
- c) els sistemes naturals són complexos i, per la mateixa raó, com no hi ha solucions genèriques als problemes que se'ns plantegen, els dissenys han de ser diversos, implicats en el lloc i l'ecosistema en els quals es produeix.

Al costat d'aquestes idees, i també en el camp del disseny, s'ha d'esmentar igualment el denominat disseny regeneratiu (“*Regenerative Design*”). Aquesta filosofia la va plantejar l'arquitecte i paisatgista John T. Lyle als anys setanta arran d'un treball educatiu en el qual va reptar als seus estudiants que proposaren idees per a aconseguir una societat en la qual les activitats més habituals estigueren dins dels límits dels recursos renovables disponibles sense degradar el medi ambient[6]. A partir d'aquesta experiència va postular que qualsevol sistema es pot organitzar de forma regenerativa, emulant el funcionament dels ecosistemes, on els productes es creen i interaccionen sense produir residus. *“L'objectiu del desenvolupament sostenible és continuar creixent (sense provocar dany a l'entorn) , mentre que l'objectiu del disseny regeneratiu és crear sistemes humans que no hagin de ser rebutjats”* [7].

Altres referents són així mateix el de L'Economia del Rendiment o “*Performance Economy*”, que es deu a l'arquitecte i analista industrial Walter Stahel, un dels pensadors que ha estat font d'inspiració per a moltes d'aquestes escoles. Tot va sorgir el 1976, quan Stahel va presentar un informe a la Comissió Europea, escrit juntament amb Geneviève Reday, en el qual defensava una economia en bucles (o economia circular), analitzant el seu impacte en la creació de treball, la competitivitat, l'estalvi de recursos i la prevenció de residus. De fet, molts li atribueixen la paternitat de l'expressió “*Cradle to Cradle*” [8].

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

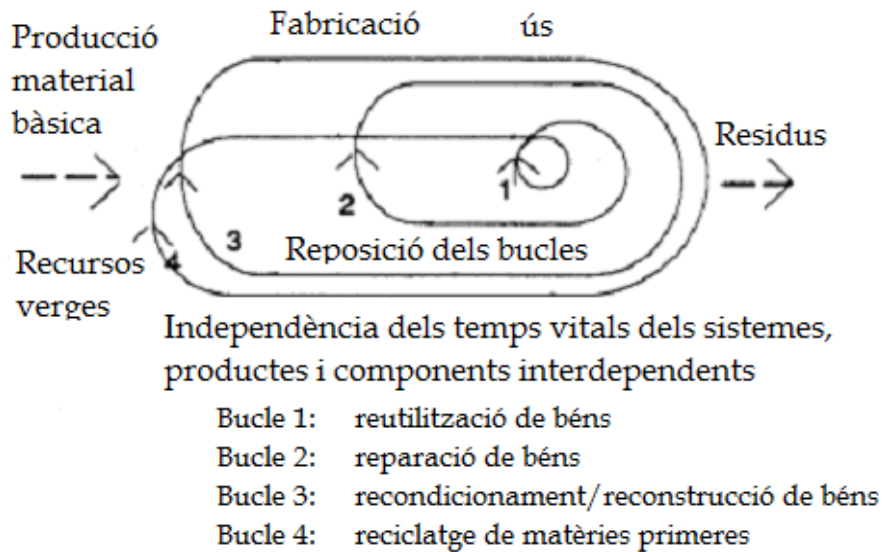


Figura I.2 Independència dels temps vitals dels sistemes, productes i components interdependents.

Font: Walter R. Stahel, "Product-Life Factor"(Mitchell Prize Winning Paper 1982).

S'Arriba finalment a la idea d'economia circular. Com és sabut, el moment inicial és la cimera de Rio de 1992, any clau quant a la incorporació de la variable mediambiental a l'àmbit econòmic-empresarial, per ser en aquella cimera quan es va definir el concepte de "desenvolupament sostenible", ratificat per 180 països. El model "d'economia circular" va rebre diverses denominacions, relacionades amb les diferents teories abans exposades. La idea es pot expressar de la següent manera:

"Una economia circular és aquella que és restaurativa i regenerativa a propòsit, i que tracta que els productes, components i matèries mantinguin la seua utilitat i valor màxims en tot moment, distingint entre cicles tècnics i biològics. Aquest nou model econòmic tracta en definitiva de desvincular el desenvolupament econòmic global del consum de recursos finits. Una economia circular aborda els creixents desafiaments relacionats amb els recursos als quals s'enfronten les empreses i les economies, i podria generar creixement, crear ocupació i reduir els efectes mediambientals, inclosos les emissions de carboni. Atès que cada vegada són més les veus que advoquen per un nou model econòmic basat en el pensament de sistemes, una conjunció favorable sense precedents d'actors tecnològics i socials pot fer possible ara la transició a una economia circular."

El model, a més, es basa en tres principis clars. En primer lloc, "Preservar i millorar el capital natural controlant reserves finites i equilibrant els fluxos de recursos renovables ". En Segon terme, " Optimitzar els rendiments dels recursos distribuint productes , components i matèries amb la seva utilitat màxima en tot moment tant en cicles tècnics com biològics ". Finalment , " Promoure l'eficàcia dels sistemes detectant i eliminant del disseny dels factors externs negatius"[9].

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

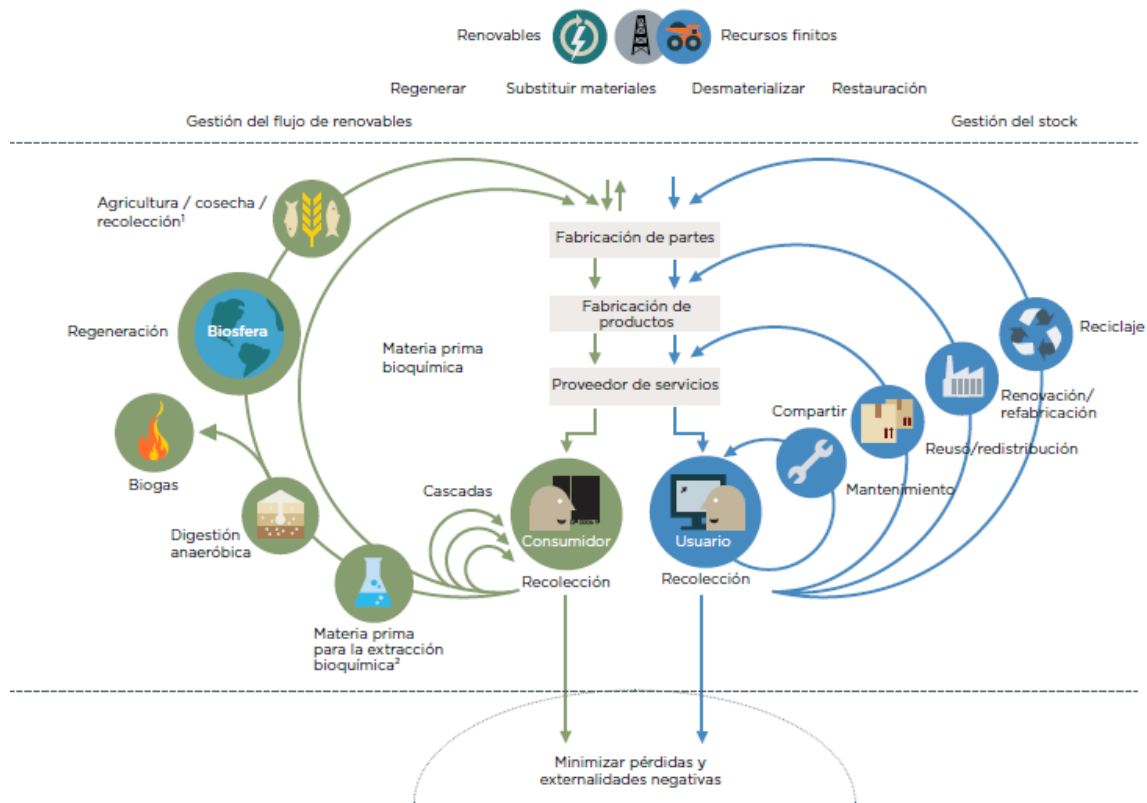


Figura I.3: Diagrama d'economia circular.

Font: *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*, Ellen MacArthur Foundation[10].

1.4 Context pràctic: residus

Fa uns anys, el Banc Mundial va publicar un informe sobre residus urbans que començava de la següent manera:

“A mesura que el món es precipita cap al seu futur urbà, la quantitat de residus urbans (RSU), un dels més importants subproductes d'un estil de vida urbà, està creixent fins i tot més ràpid que la taxa d'urbanització. Fa deu anys hi havia 2,9 mil milions de residents urbans que generaven aproximadament 0,64 kg de RSU per persona i dia (680 milions de tones per any). Aquest informe estima que avui dia aquestes quantitats han augmentat a prop de 3 mil milions d'habitants que generen 1,2 kg per persona i dia (1,3 mil milions de tones per any). En 2025 és probable que augmenti a 4,3 mil milions de residents urbans generant uns 1,42 kg / càpita / dia de residus urbans (2,2 mil milions de tones per any)”[11].

Òbviament, aquest volum de residus tendeix a ser molt més gran a les regions més riques, de forma que els països de l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE), el grup de nacions industrialitzades, són líders mundials en la producció de RU, amb 1,6 milions de tones per dia. Mentrestant, l'Àfrica subsahariana produeix menys d'una vuitena part, unes 200.000 tones per dia. En qualsevol cas, entre els principals generadors de residus domèstics s'inclouen Brasil, Xina, Índia i Mèxic, en part per la grandària de les seves poblacions urbanes i en part perquè s'adopten estils de vida d'alt consum. Ara bé, el líder mundial en la producció de RU amb 621.000

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

tones per dia és Estats Units, amb la Xina relativament a prop, amb 521.000 tones per dia. Al capdavall, tots s'enfronten a la problemàtica de la generació i dels mitjans per a la correcta gestió d'aquests. A la taula I.1 es mostren les dades que dona aquest informe sobre la producció de RU per zones geogràfiques, així com l'estimació futura.

| Regió | Dades disponibles | | | Projeccions per al 2025 | | |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| | Total població urbana (milions) | Generació de residus urbans | | Població urbana (milions) | Residus urbans | |
| | | Per càpita (kg/càpita/dia) | Total (tones/dia) | | Per càpita (kg/càpita/dia) | Total (tones/dia) |
| Àfrica | 260 | 0,65 | 169.119 | 518 | 0,85 | 441.840 |
| Extrem Orient/Pacífic | 777 | 0,95 | 738.958 | 1.229 | 1,5 | 1.865.279 |
| Europa/Àsia Central | 227 | 1,1 | 254.389 | 239 | 1,5 | 354.810 |
| Amèrica Llatina/Carib | 399 | 1,1 | 437.545 | 466 | 1,6 | 728.392 |
| Orient Proper/Nord d'Àfrica | 162 | 1,1 | 173.545 | 257 | 1,43 | 369.320 |
| OCDE | 729 | 2,2 | 1.566.286 | 842 | 2,1 | 1.742.417 |
| Sud d'Àsia | 426 | 0,45 | 192.410 | 734 | 0,77 | 567.545 |
| Total | 2980 | 1,2 | 3.532.252 | 4.285 | 1,4 | 6.069.703 |

Taula I.1 Generació i projecció de la generació de residus urbans per càpita.

Font: Eurostat.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Com es pot veure, són els països de l'OCDE els que més RU generen, com és obvi atès el seu grau de "desenvolupament". De fet, segons aquest informe, aquesta part del món és la responsable de gairebé la meitat de tot els residus produïts.

Quant a Europa, es coneix molt bé l'evolució de la generació i el tractament de RU, perquè el Reglament (CE) 2150/2002 del Parlament Europeu i del Consell, fixa un seguit de criteris sobre les estadístiques que s'han de fer. Així, la figura I.4 mostra les dades recollides a l'abril de 2015 i referides al 2012[12].

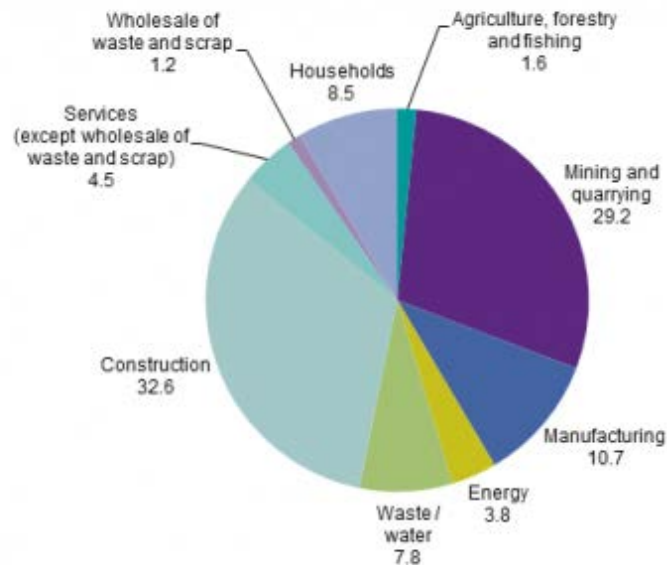


Figura I.4 Generació a Europa de les distintes fraccions de residus per sector.

Font: Eurostat.

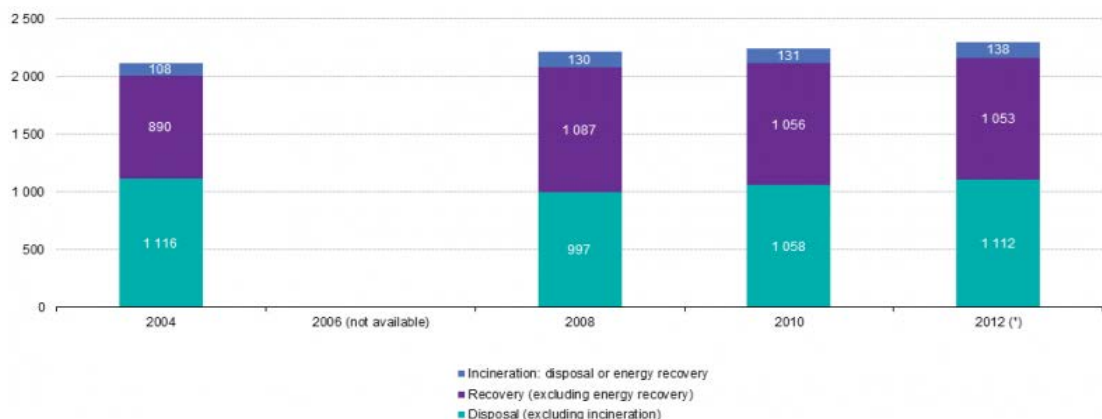


Figura I.5 Evolució del tractament de residus a la UE-28 2008-2012 (milions de tones)

Font: Eurostat.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Es veu, doncs, que el 2012, la EU-28 va generar un total de 2.515 milions de tones de residus, la qual cosa suposava gairebé cinc tones (4.984 kg) per habitant, amb diferències considerables entre Estats tant pel que fa a les quantitats com a les activitats que els generen. De fet, la majoria (63 %) de residus eren minerals. Quant als d'altres tipus, se'n generaren 922 milions de tones. Si això es relaciona amb la població, el 2012 cada habitant va generar una mitjana de 1,8 tones d'aquest tipus. Però cal afegir que, entre 2004 y 2012, el nivell de generació de residus no minerals va descendir un 3,7 %, i la quantitat per habitant es va reduir un 5,8 % (en part perquè la població va augmentar).

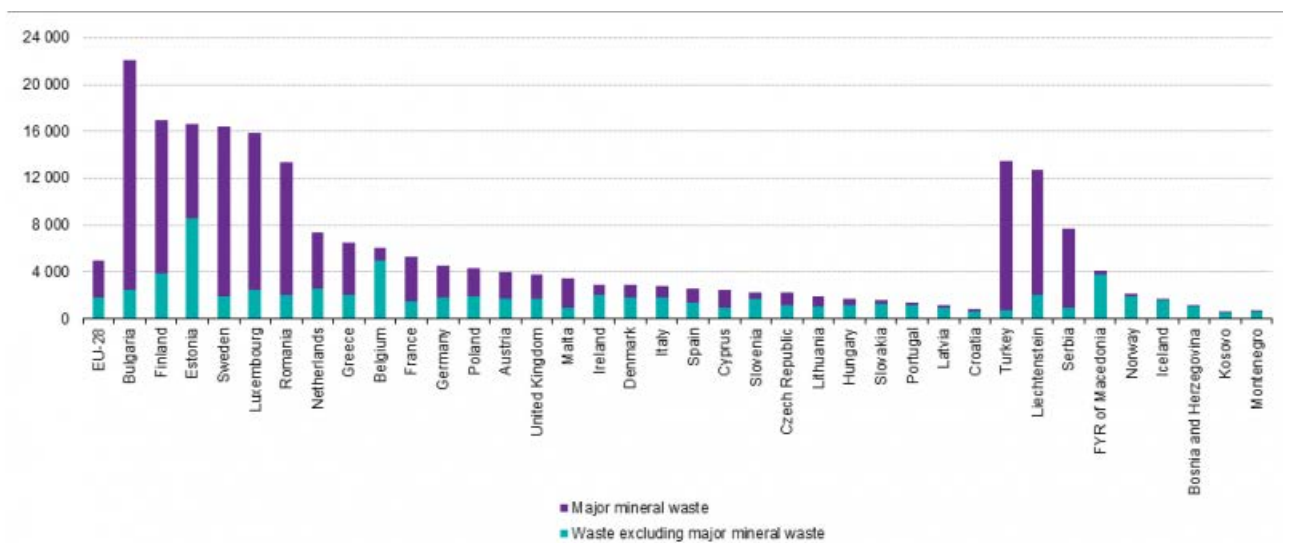


Figura I.6 Generació de rebuig al 2012 (kg per càpita).

Font: Eurostat.

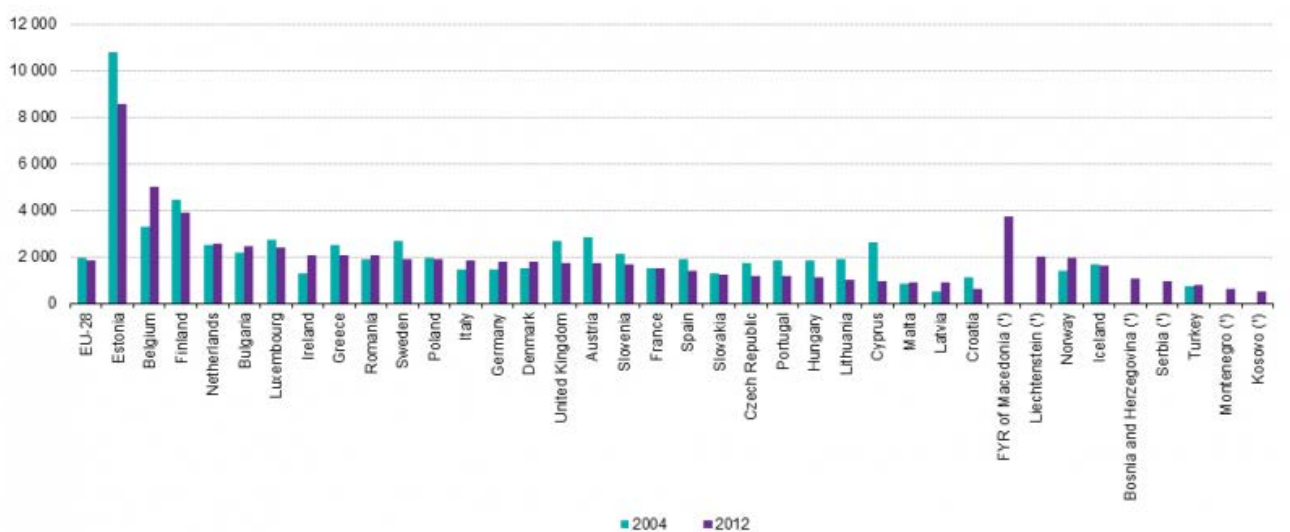


Figura I.7 Generació de rebuig excloent la fracció mineral(kg per càpita)

Font: Eurostat.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

D'altra banda, aquestes estadístiques d'Eurostat indiquen que –si s'exclouen els residus minerals- els nivells més alts de generació corresponen a les llars i a les activitats manufactureres (208,1 milions i 200,8 milions de tones, respectivament), mantenint-se les primeres entre 2004 i 2012 i reduint-se les segones (fins un 26%), potser degut a la crisi econòmica. Si es mira de més a prop, resulta que els residus municipals representen només el 10% dels totals, però són els més analitzats, per la seua composició i seva relació amb els patrons de consum[13]. De fet, per al 2014, els totals varien considerablement per països, perquè reflecteixen les diferències en patrons de consum i riquesa econòmica, així com variacions en recollida i tractament.

Com s'ha assenyalat, les diferències afecten també al tractament: abocadors, incineració, reciclatge i compostatge, amb una progressiva disminució dels primers i un augment dels altres tractaments. En efecte, la quantitat total de residus municipals en abocadors ha disminuït en 78 milions de tones, o el 54%, passant de 144 milions (302 kg per càpita) l'any 1995 a 66 milions de tones (131 kg per càpita) el 2014. Dit d'una altra manera, en els últims deu anys (2004-2014) el dipòsit en abocadors s'ha reduït fins a un 5,6% per any de mitjana. Així, la taxa d'abocament en comparació amb la generació de residus municipals, ha passat del 63,8% el 1995 al 27,5% el 2014.

En el cas d'Espanya, el darrer informe sobre residus del Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient diu que la generació el 2012 va estar al voltant dels 137 milions de tones, amb una tendència descendent respecte a anys anteriors[14]. La composició, d'altra banda, és semblant a la del cas europeu: els sectors que generen un major volum són la construcció i la mineria, seguits per les llars i els sectors serveis i industrial.

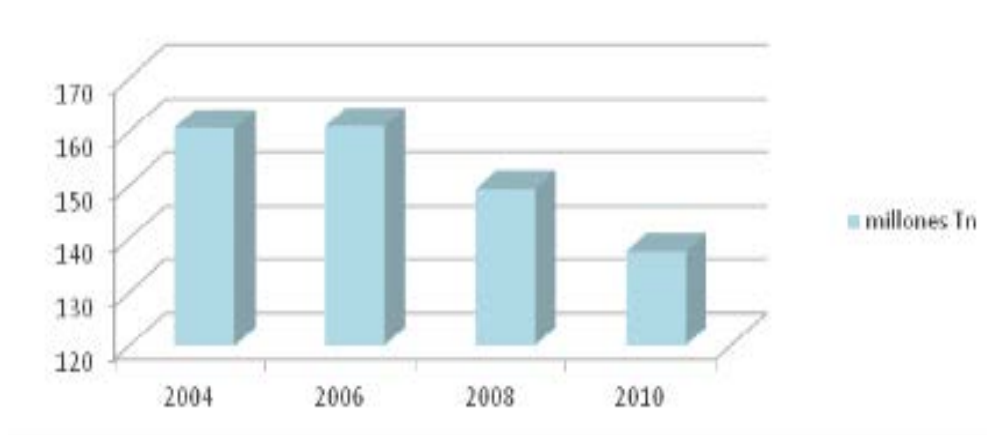


Figura I.8 Residus generats en espanya per anys.

Font: Eurostat.

Quant a la gestió, el 2012 el 61% es destinava a la valorització material, mentre un 37% acabava als abocadors. I pel que fa als residus municipals, la quantitat estimada va ser de 464 kg per habitant i any (lleugerament inferior a l'europea), quantitat que es tractada al 100% (cosa que no vol dir reciclada[15]).

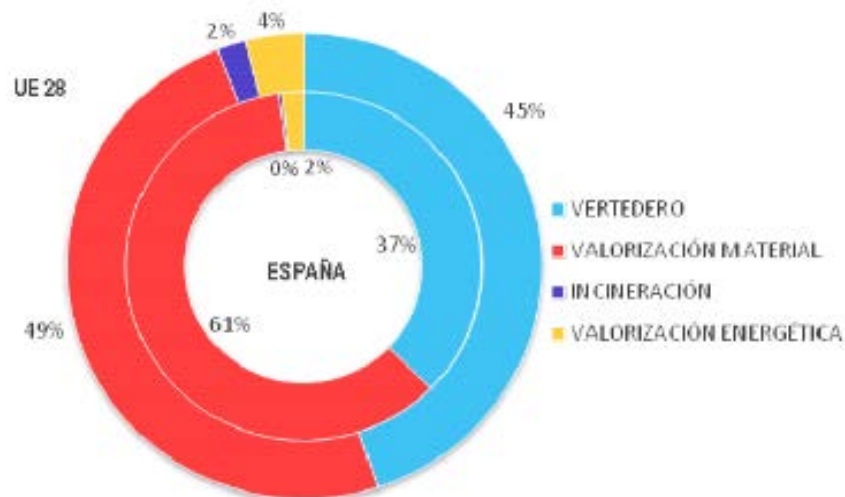


Figura I.9 Gestió de residus UE/28 Espanya.

Font: Eurostat.

1.5 Context Pràctic: gestió i normativa

a) Gestió Mundial

En l'àmbit Internacional, l'any 2015 193 líders mundials van arribar a un acord per establir 17 objectius mundials a complir en els següents 15 anys (fins al 2030) anomenats per l'ONU com els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS), aprovats per combatre tres grans problemes principalment: eradicar la pobresa; lluitar contra la desigualtat i la injustícia; i fer front al canvi climàtic. Els ODS es basen en els anomenats Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM), els quals van ser adoptats l'any 2000 i representaven una sèrie d'objectius mundials a complir fins l'any 2015, com per exemple l'accés a l'aigua, al sanejament i als medicaments, combatre la desigualtat de gènere i la reducció de la pobresa i la fam. Entre els objectius acordats als ODS figura el de producció i consum responsables[16], que diu així:

“El consum i la producció sostenibles consisteixen a fomentar l'ús eficient dels recursos i l'eficiència energètica, infraestructures sostenibles i facilitar l'accés als serveis bàsics, ocupacions ecològiques i decents, i una millor qualitat de vida per a tots. La seua aplicació ajuda a assolir els plans generals de desenvolupament, reduir els futurs costos econòmics, ambientals i socials, augmentar la competitivitat econòmica i reduir la pobresa. L'objectiu del consum i la producció sostenibles és fer més i millors coses amb menys recursos, incrementant els guanys nets de benestar de les activitats econòmiques mitjançant la reducció de la utilització dels recursos, la degradació i la contaminació durant tot el cicle de vida, assolint al mateix temps una millor qualitat de vida. També és necessari adoptar un enfocament sistèmic i assolir la cooperació entre els participants de la cadena de subministrament, des del productor fins al consumidor final. Consisteix a involucrar els consumidors mitjançant la sensibilització i l'educació sobre el consum i les maneres de vida sostenibles, facilitant-los informació adequada a través de normes i etiquetes, i participant en la contractació pública sostenible, entre d'altres”[17].

D'aquest document cal remarcar l'ajuda a l'hora d'establir models de consum sostenible a les noves potències emergents i als països en desenvolupament amb grans poblacions, ja que el nivell de desenvolupament d'una zona ve lligat també amb un augment notable de la producció de residus. La situació de creixement exponencial de la seua generació fa preveure que si no es produeix una actuació ràpida en els pròxims anys, el problema pot resultar irreversible. D'això se n'encarrega el "Programa de les Nacions Unides per al Desenvolupament", que ve funcionant des de diverses dècades en altres àrees i que ha assolit els ODS com a prioritat màxima[18].

b) Gestió a Europa

Pel que fa a l'àmbit Europeu, l'òrgan encarregat de l'establiment dels objectius mediambientals és la Comissió Europea (CE). Aquesta va fixar un "Full de ruta cap a una Europa eficient" (COM (2011) 571) que forma part de l'Estratègia Europa 2020. Aquesta comunicació de l'esmentada Comissió donava suport al canvi cap a un creixement sostenible mitjançant una economia eficient des del punt de vista dels recursos i amb un baix consum de carboni. A més, arrellegava l'Estratègia temàtica sobre l'ús sostenible dels recursos naturals (COM (2005) 670) de 2005 i l'Estratègia de Desenvolupament Sostenible de la UE[19].

En aquest context, la Comissió va publicar el 2 de Desembre de 2015 un document amb el títol de "Tancar el cercle: un pla d'acció de la UE per a l'economia circular", una estratègia mediambiental que és basa en mantenir els productes, els materials i els residus dins de l'economia el major temps possible, abordant totes les fases del cicle de vida d'un producte i reduint així la quantitat de residus generats. La comunicació, d'altra banda, va presentar un paquet de mesures i pautes per avançar cap aquest model de consum sostenible, materialitzades en objectius a curt (2020) i més llarg termini (2030)[20]. Entre les mesures més destacables del pla d'acció es troben[21]:

- Taxa de reciclatge dels residus municipals del 65%.
- Taxa de reciclatge dels residus d'embalatge del 75%.
- Reducció de la taxa depòsit dels RU als abocadors a un màxim del 10%.
- Elaboració de normes de qualitat per a les matèries primeres secundàries[22], impulsant així l'aparició d'un mercat consolidat.
- Innovació i millora en el sector de reciclatge del plàstic, que actualment es troba en un 25%.
- Millora i optimització dels serveis de recollida i classificació
- Recuperació energètica dels residus com a millor solució que l'enviament als abocadors.
- Reducció a la meitat dels residus alimentaris per habitant i reducció de pèrdues d'aliments al llarg de les cadenes de producció i subministre.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

De totes les mesures esmentades anteriorment, la referida a la reducció dels residus als abocadors controlats fins al 10% com a màxim es planteja com un autèntic repte per a tota Europa, i en particular pel que fa a Espanya, ja que actualment només es reciclen un 30% dels RU (front al 43% de mitja a la UE i el 63% de països com Alemanya -i sembla que el percentatge ha millorat en el cas alemany[23]), mentre un 10% s'incinera i la resta, un 60%, acaba en abocadors controlats sense cap tipus de tractament.

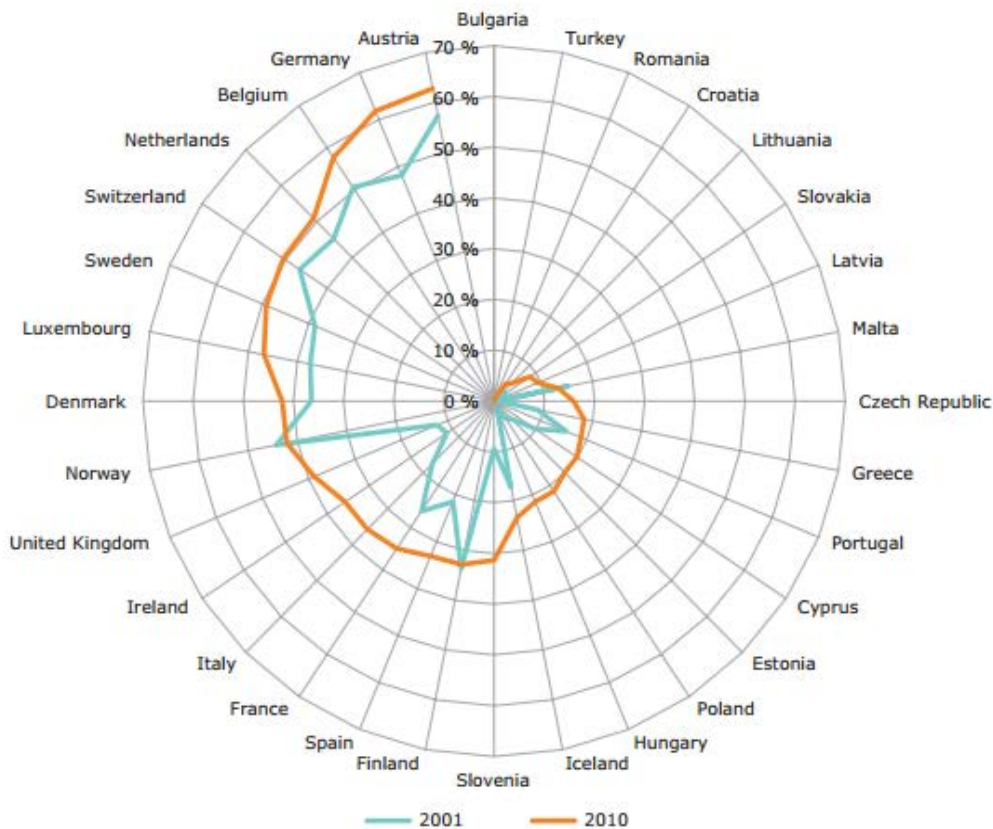


Figura I.10: Taxa de reciclatge del rebuig municipal en 32 països Europeus als anys 2001 i 2010.

Font: Eurostat.

A aquests abocadors controlats arriben residus de tres tipus principalment: els sòlids que no poden ser reciclats, matèria residual després del procés de triatge selectiu; i residus que provenen del refinament de la matèria orgànica per a l'obtenció de compost. A més, encara existeixen alguns dels anomenats abocadors incontrolats en els quals els residus són descarregats en qualsevol ubicació sense cap tipus de gestió i sense complir amb cap normativa o legislació. Actualment ja no està permesa l'existència d'aquest tipus d'abocadors.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Pel que fa als abocadors controlats, aquests sí compleixen amb les disposicions legals vigents i els residus són tractats en àrees especialment preparades on es minimitzen els efectes negatius sobre l'entorn, on a més de l'emmagatzemament i soterrament adequat dels residus es realitza una recollida i tractament dels lixiviats i el biogàs produïts. Tot i que els abocadors es plantegen com una bona opció en els casos dels residus que no poden ser recuperats, plantegen una sèrie d'inconvenients per a l'entorn:

- Poden existir emissions incontrolades de metà i diòxid de carboni (biogàs).
- Males olors.
- L'impacte ambiental enorme que suposa la construcció d'un abocador(danys a la fauna i flora de la zona, ocupació del sòl i destrucció del medi ambient).
- Soroll de les màquines que compacten els residus.
- Proliferació de fauna associada(insectes i rosegadors principalment).
- Generació de lixiviats amb una toxicitat alta.
- Perill de possible filtració dels lixiviats a les aigües subterrànies o als rius.
- Les substàncies perilloses també es queden al propi sòl.
- Es poden produir incendis degut a la presència de biogàs.

Per aquests motius, la reducció de la taxa de residus que arriben a un abocador controlat ha de ser dràsticament reduïda, cosa que no resulta un objectiu impossible, ja que gran part del contingut de residus que arriben a l'abocador són perfectament reciclables i/o valoritzables amb una millora del sistema de gestió.

c) Gestió a Espanya

Pel que fa a l'àmbit nacional, el govern espanyol ha anat establint els seus propis fulls de ruta en els darrers anys. Tot i que no tenen un caràcter estrictament vinculant, són tota una declaració d'intencions futures i un marc en el que moure's. Actualment, i encara que les comunitats autònomes també disposen dels seus plans i programes propis, les mesures adoptades s'han materialitzat en diversos tipus de documents de caràcter jurídic.

Cal dir d'entrada que el primer pla de residus data del 1995, perquè aquell any apareix el "I Pla Nacional de Residus Perillosos (1995-2000) (I PNRP)" i el "I Pla Nacional de Recuperació de Sols Contaminats (1995-2005) (I PNSC)", en els quals es preveïen inversions en la millora de la gestió, creació de infraestructures i elaboració d'inventaris. El marc posterior és el que hi havia al "I Pla Nacional de Residus Urbans (2000-2006) (I PNRU)", de gener de 2000, que era semblant a l'anterior però amb programes específics de prevenció, reutilització, reciclatge, valorització energètica i eliminació d'aquest tipus de residus. A partir d'aquest moment ja es pot dibuixar un marc més estable, lligat a la normativa europea:

1. El "**Pla Nacional Integrat de Residus, 2008-2015 (PNIR)**", aprovat al gener de 2009, consolida els objectius coneguts com "les tres erres": reduir, reciclar i reutilitzar, encara que també n'inclou altres, fixant uns límits segons la normativa ja vigent i la futura Directiva marc sobre residus europea. La taula I.2 mostra un fragment del PNIR[24].

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| <p>Reciclatge</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Augment del compostatge i de la biometanització de la fracció orgànica. • Conversió de les plantes de triatge i compostatge en plantes per al tractament mecànic biològic previ a la eliminació. • Garantir el compliment dels objectius en matèria de reciclatge i valorització • Augment de les taxes de reciclatge de les fraccions presents en els residus urbans. • Increment de la taxa de recollida selectiva | <ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la quantitat de fracció orgànica recollida en almenys 2 milions de tones per a destinar-les a compostatge o biometanització. • Increment de les Tones recollides de les següents fraccions procedents de la recollida selectiva en 2006: <table border="1" data-bbox="821 622 1423 996"> <thead> <tr> <th></th> <th>Increment</th> <th>Kg/hab/any</th> <th>t en 2015</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Paper</td> <td>80%</td> <td>20</td> <td>1.620.000</td> </tr> <tr> <td>Vidre</td> <td>80%</td> <td>12</td> <td>996.300</td> </tr> <tr> <td>Plàstic</td> <td>100%</td> <td>3</td> <td>230.000</td> </tr> <tr> <td>Metales</td> <td>100%</td> <td>1</td> <td>92.000</td> </tr> </tbody> </table> | | Increment | Kg/hab/any | t en 2015 | Paper | 80% | 20 | 1.620.000 | Vidre | 80% | 12 | 996.300 | Plàstic | 100% | 3 | 230.000 | Metales | 100% | 1 | 92.000 |
|--|--|--|--|--|------------|-----------|-------|-----|----|-----------|-------|-----|----|---------|---------|------|---|---------|---------|------|---|--------|
| | Increment | Kg/hab/any | t en 2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paper | 80% | 20 | 1.620.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vidre | 80% | 12 | 996.300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plàstic | 100% | 3 | 230.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metales | 100% | 1 | 92.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Valorització Energètica</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 2012: Incrementar la capacitat d'incineració de les incineradores de 2006. • Valor l'ús del contingut energètic de la fracció rebuig procedent de les plantes de tractament de residus en instal·lacions de coïncineració. • Correcta gestió ambiental dels residus generats en la valorització energètica (escòries i cendres). | <p align="center">Incineració de RU</p> <table border="1" data-bbox="821 1332 1423 1579"> <thead> <tr> <th>Capacitat d'incineració en 2006 (milions de Tm)</th> <th>Capacitat Objectiu 2012 (milions de Tm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">2.1</td> <td align="center">2.7</td> </tr> </tbody> </table> | Capacitat d'incineració en 2006 (milions de Tm) | Capacitat Objectiu 2012 (milions de Tm) | 2.1 | 2.7 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacitat d'incineració en 2006 (milions de Tm) | Capacitat Objectiu 2012 (milions de Tm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | 2.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <p align="center">Objectius qualitatius</p> | <p align="center">Objectius quantitius</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Abocament</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Reduir la quantitat de residus destinats a l'abocament, especialment la fracció biodegradable. En particular la fracció orgànica i el paper/cartró. | <ul style="list-style-type: none"> • Reduir la quantitat de residus biodegradables municipals destinats a l'abocament en 2006 per complir l'objectiu establert en la normativa d'abocament. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|-----------|------------|---------|------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Eradicar l'abocament incontrolat que ocasiona tants danys al medi ambient i a la salut humana mitjançant l'aplicació del programa "Acció contra l'abocament Il·legal". • Aplicar eficientment la legislació en matèria d'abocaments. • Incrementar el control del seu compliment mitjançant l'aplicació del règim d'inspecció i comprovació (caracterització i tractament previ, vigilància i sancionament). | | | | |
| | | RMB | Abocaments | RMB | Abocaments |
| | | 2006 | | en 2016 | |
| | | 7.768.229 | 4.176.950 | | |

Taula I.2 Pla Nacional Integrat de Residus, 2008-20015.

Font: Ministeri d'Agricultura i Medi Ambient.

2. **La llei 22/2011 del 28 de Juliol sobre residus i sols contaminats**, de la seua banda, és fruit de la necessitat de transposar la Directiva 2008/98/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 19 de novembre de 2008, sobre residus i que derogava determinades normes prèvies tot integrant-les dins una "Directiva marc de residus". La llei espanyola bàsicament va establir mesures amb l'objectiu de prevenir la generació dels residus i millorar l'eficiència en l'ús dels recursos naturals. A més, pel que fa a l'entorn urbà, delimitava les competències de les entitats locals. De fet, la gestió dels residus domèstics correspon a aquestes Entitats i, en major o menor mesura, es orientada per les Comunitats Autònomes. En aquesta llei també queda recollida la intenció de redactar els anomenats Plans Nacionals de Residus Urbans (PNRU) i un Plans Nacionals Integrats de Residus (PNIR). En qualsevol cas, entre les novetats que incorporava estaven:

- jerarquitzar les opcions de gestió (prevenció, preparació per a la reutilització, reciclatge, altres formes de valorització -inclosa l'energètica- i eliminació);
- fixar objectius quantificats del 50% per a la preparació per a la reutilització i reciclatge de les fraccions reciclables procedents dels residus domèstics abans de 2020; i del 70% per a la preparació per a la reutilització, reciclatge i valorització material dels residus de construcció i demolició abans de 2020;
- implantar la recollida separada de diferents materials abans de 2015 (entre d'altres, paper, plàstic, vidre i metalls); millora de la gestió dels bioresidus;

- considerar la incineració de residus municipals com a operació de valorització si s'aconsegueix l'eficiència energètica establerta; establir un registre únic de producció i gestió de residus i millorar la transmissió de la informació per afavorir transparència i la traçabilitat en la gestió; etc.
3. **“Programa Estatal de Prevenció de Residus 2014-2020”**[25]. Bàsicament tracta d'aplicar el full de ruta per una Europa eficient i el paquet de mesures en favor d'una economia circular, del que ja s'ha parlat, atès que tant la llei de 2011 com el Consell Europeu exigien elaborar aquest pla abans del 12 de desembre del 2013. Així, desenvolupa la política de prevenció per avançar en el compliment de l'objectiu de reducció dels residus generats en 2020 a un 10% respecte del pes dels residus generats el 2010. El programa descriu la situació actual de la prevenció a Espanya, realitza una anàlisi de les mesures de prevenció existents i en valora l'eficàcia. El programa té quatre línies estratègiques destinades a incidir en els elements clau de la prevenció de residus: reducció de la quantitat de residus; reutilització i allargament de la vida útil dels productes; reducció del contingut de substàncies nocives en materials i productes; i reducció dels impactes adversos sobre la salut humana i el medi ambient.
 4. **“Pla Estatal Marc de Gestió de Residus (PEMAR) 2016-2022”**[26]. Acabat el 2015 el pla anterior, se'n va fer un nou per tres motius: d'una banda, per esmenar les deficiències detectades; d'altra, per actualitzar el primer i fixar les mesures necessàries per complir amb els objectius comunitaris; finalment, perquè la Política de Cohesió per al període 2014-2020 inclou com a condició per al finançament d'inversions, el compliment de determinats requisits que calia incloure. Així que el govern va proposar un Pla d'Acció a la Comissió Europea comproment-se a disposar de Plans estatals i autonòmics abans de finalitzar 2016 on aquest Pla n'és el resultat.

En conclusió, la memòria del Pla venia a indicar que el 82% dels residus municipals encara es recollien el 2012 de forma barrejada. D'aquests residus, el 13,3% serien envasos lleugers (menys de l'1% envasos de plàstic comercial/industrial), el 13,9% paper/cartró, el 4,8% envasos de vidre i el 47% matèria orgànica. De manera que veia necessari captar aquests materials reforçant les recollides separades existents i implantant nous llocs i més fraccions (tèxtils, olis de cuina, etc.). En conjunt, es proposava el que s'indica a la figura I.11.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| | Situación actual Reciclado Neto 2012 | | | Situación Reciclado Neto 2020 | | |
|--------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | Recogida Separada (t) A | Recogida mezclada (t) | Total (t) | Recogida Separada adicional (t) B | Recogida mezclada (t) C (**) | Total Reciclado (t) (A+B+C) |
| Biorresiduos | 541.350 | 2.515.909 | 3.057.259 | 1.708.997 | 1.509.545 | 3.759.892 |
| Metales | 62.470 | 141.246 | 203.716 | 226.616 | 141.246 | 430.332 |
| Plásticos | 220.724 | 99.097 | 319.821 | 777.716 | 99.097 | 1.097.537 |
| Papel/cartón | 1.106.831 | 157.803 | 1.264.634 | 1.159.240 | 157.803 | 2.423.874 |
| Vidrio | 740.289 | 14.077 | 754.366 | 517.364 | 14.077 | 1.271.730 |
| Madera | | | 0 | 199.480 | 0 | 199.480 |
| Bricks | 35.094 | 11.992 | 47.086 | 106.642 | 11.992 | 153.728 |
| Textiles* | | | 0 | 491.692 | 0 | 491.692 |
| Otros* | 5.852 | 15.889 | 21.741 | 147.805 | 15.889 | 169.546 |
| Humedad | | | | | | |
| Total | 2.712.610 | 2.956.013 | 5.668.623 | 5.335.552 | 1.949.649 | 9.997.811 |

*Incluye la preparación para la reutilización de textiles, muebles, RAEEs y otros residuos

**Se ha considerado que los 10 millones de residuos mezclados que quedan tras incrementar la recogida separada, se tratarían en las plantas de TMB existentes y que sólo el 60% del material bioestabilizado obtenido se usa en el suelo y el 40% restante se destina a valorización energética.

Figura I.11 Situació actual de reciclatge i objectiu previst per a l'any 2020.

Font: Ministeri d'Agricultura i Medi Ambient.

d) Gestió Autònoma

L'article 14.22 de la Llei 22/2011, de 28 de juliol, indicava que les Comunitats Autònomes havien d'elaborar plans de gestió de residus, prèvia consulta a les Entitats Locals. Aquests plans inclourien, a més, una anàlisi actualitzada de la situació, així com una exposició de les mesures per tal de facilitar la preparació per a la reutilització, el reciclatge, la valorització i l'eliminació de residus, establint-ne els objectius. A més, com s'acaba d'indicar, el govern es va comprometre a què es promulgaren Plans autonòmics abans de finalitzar el 2016.

La Comunitat Valenciana (en la qual se situarà aquest estudi) tenia des del 1997 un "Pla Integral de Residus" (PIR97), però per citar normes més recents, cal dir que va publicar el 12 de Desembre de 2010 la Llei 10/2000 de Residus, de la qual es remarquen els següents articles[27]:

"Article 1. Objecte

La present llei té per objecte, en el marc de les competències de la Generalitat, establir el règim jurídic de la producció i gestió dels residus, així com la regulació dels sòls contaminats, amb el fi de protegir la salut humana i el medi ambient.

Article 2. Objectius

Els objectius general de la present llei són:

a) Garantir que els residus es gestionaran sense posar en perill la salut humana, millorant la qualitat de vida dels ciutadans de la Comunitat Valenciana.

b) Donar prioritat a les actuacions tendents de prevenir i reduir la quantitat de residus generats i la perillositat d'aquests.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

c) Obtenir un alt nivell de protecció, utilitzant procediments o mètodes que no provoquen incomoditat pel soroll o per les olors, que no atempten contra els paisatges o llocs d'interès especial, ni perjudiquen el medi ambient creant riscos per a l'aigua, l'aire, el sòl, la flora i la fauna.

d) Desenvolupar instruments de planificació, inspecció i control que afavorisquen la suficiència, seguretat i eficiència de les activitats de gestió dels residus.

e) Assegurar la informació als ciutadans sobre l'acció pública en matèria de gestió dels residus, promovent la seua participació en el desenvolupament de les accions previstes”.

Tres anys després, el Decret 81/2013, de 21 de juny, del Consell, aprovava el Pla Integral de Residus de la Comunitat Valenciana (PIRCV), adaptant-se així a les normatives superiors i actualitzant el vell PIR97. A més, i el que és més interessant, incorporava una memòria informativa i una altra justificativa [28]. Entre les dades aportades hi havia diverses gràfiques sobre generació, estimació de les tendències de generació futura, instal·lacions de tractament de residus i capacitats dels abocadors dividit tot per províncies (les taules comentades es troben a l'apèndix)[29].

Tot i que a la memòria del PIRCV es deia que aquest “segueix la jerarquia de gestió establerta per les estratègies comunitàries, a saber: reducció, reutilització, reciclatge, valorització, i en última instància l'eliminació, amb el punt de mira en l'abocament zero”, això no ha ocorregut. I cal afegir que l'estimació estava sobrevalorada, tal com es desprèn de la comparació amb les dades de l'INE per als anys 2009-2012 que s'ha ofert abans. Tampoc la situació de les instal·lacions és la millor.

En matèria de recollida selectiva[30], a pesar de que el 99,2% de la població té accés a la recollida selectiva de paper/cartró i d'envasos lleugers només s'arreglen 11,2 i 8,4 quilograms per habitant i any, respectivament, el que deixa en evidència la falta de col·laboració ciutadana en la tasca de reciclatge. A més, finalment només es recuperen 55.647 tones d'envasos lleugers, 33.653 de metalls, 61.048 de paper/cartró i sols 50 de fusta, el que també es revela com un rendiment insuficient, ja que la resta de la fracció no recuperable acaba als abocadors[31].

Tot i això, hi ha dades per a l'optimisme. Les dades estadístiques diuen que la quantitat de residus generats per llar ha baixat arreu d'Europa (tot i que la crisi econòmica tinga bona part de culpa) i que ha hagut un creixement de la taxa de recollida selectiva. És veritat que resta molta feina a fer, per reduir allò que es diposita als abocadors, però això és també una oportunitat, perquè es tracta d'un sector dinàmic i amb capacitat de creació d'ocupació molt gran.

Ara bé, vista la gran arribada de residus i el desenvolupament tan lent en la optimització dels sistemes de reciclatge, a més de les exigències europees per a la reducció del volum entrant als abocadors, és necessària la cerca d'alternatives a l'abocament d'aquest enorme volum de residus entrants.

2. Localització de l'estudi

2.1. La planta de triatge i compostatge

2.1.1. Característiques generals de la planta

El complex de tractament i valorització del residus urbans que s'estudiarà en aquest treball està ubicat en la província de València, ocupant una superfície total de 289.400 m² i en el qual es reben anualment al voltant de 350.000 Tones per any dels residus generats en la ciutat de València i en els municipis de la seua àrea metropolitana, el que fa un total d'uns 1.500.000 habitants aproximadament. La composició típica per fraccions del residu que arriba a la planta es mostrada a la figura I.12:

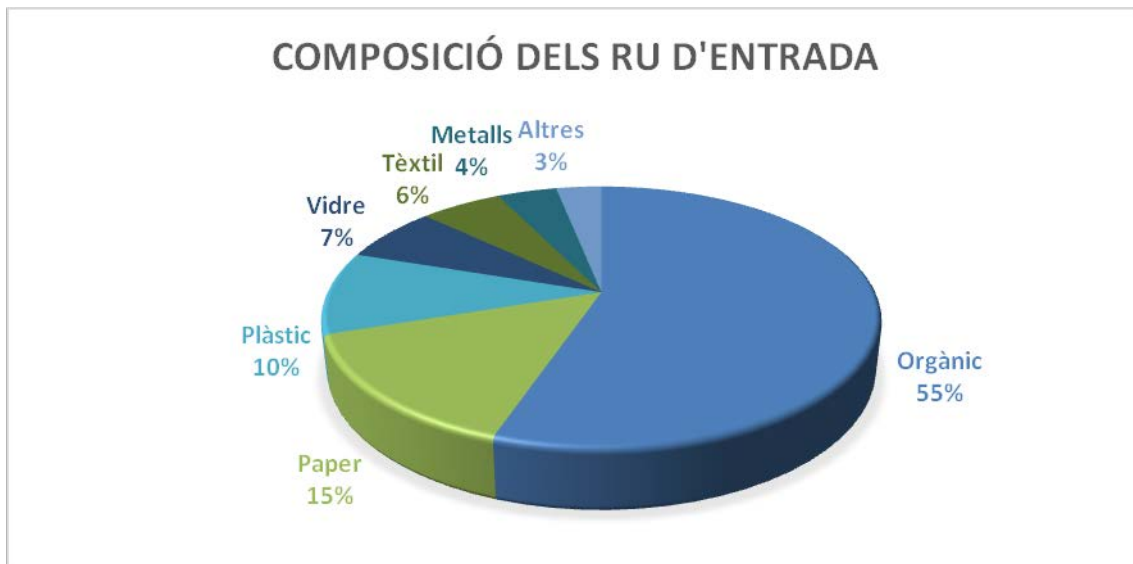


Figura I.12 Composició dels RU per fraccions que arriben a la planta de triatge i compostatge.

Font: "El medio ambiente y el medio rural y marino en España 2009"

La planta compleix les següents funcions:

- Realització del procés de triatge i selecció per obtenir productes de les distintes fraccions profitables i sumar-les a les fraccions ja recollides selectivament.
- Producció i afinament del compost a partir de matèria orgànica, que a més de minimitzar el contingut de matèria orgànica en la fracció rebuig proporciona un material estable apte per a l'ús agrícola.
- Tractament de les olors que provoca la continua càrrega i descàrrega de residus mitjançant nau tancades amb biofiltres que tracten l'aire de l'interior abans de ser renovat.

2.1.2. Esquema de la planta

La distribució d'espais i tasques en la planta és la següent:

- **Àrea de recepció:** On arriben els camions a la nau de recepció amb els residus i es produeix el pesatge (els camions es pesen a l'entrada i a l'eixida per calcular la variació en pes i ,per tant, la quantitat de residus que transporten), la classificació del tipus de residu i la descàrrega a les fosses d'emmagatzemament on uns braços "tipus polp" s'encarreguen d'arreplegar els residus i portar-los fins als alimentadors mecànics. Les cintes transportadores dels alimentadors desplacen els residus dins de la nau on es produeix primerament el trencament de les bosses i seguidament un primer triatge manual bàsicament per separar la fracció d'objectes voluminosos i vidres de la resta dels residus. Aquesta nau incorpora, a més d'una doble exclusiva , biofiltres per al tractament de les males olors
- **Àrea de tractament:** Una vegada passat el primer triatge manual, el rebuig comença a passar per les diferents línies de tractament de la planta segons la seua procedència. Una vegada han sigut correctament separades, cada fracció del rebuig es premsada i enviada a la planta que li pertoca. Les línies de tractament per a les 400.000 tones de rebuig son cinc:
 - Línies 1 i 2: tractament de la fracció "tot a una" i residus sanitaris corresponents al grup I , és a dir, residus de neteja d'habitacions, embolcalls , plàstics i material d'oficina.
 - Línia 3: tractament de la fracció "tot a una" i de la fracció resta.
 - Línia 4: fracció orgànica selectiva(contenedors d'orgànic).
 - Línia 5: residus sanitaris del grup II, és a dir, material de cures no infecciosos o materials d'un sol ús per a mostres(els residus sanitaris dels graus superiors a aquest són tractats per empreses gestores especialitzades).

Els esquemes detallats de les diferents línies s'exposen a les figures I.13, I.14, I.15 i I.16 :

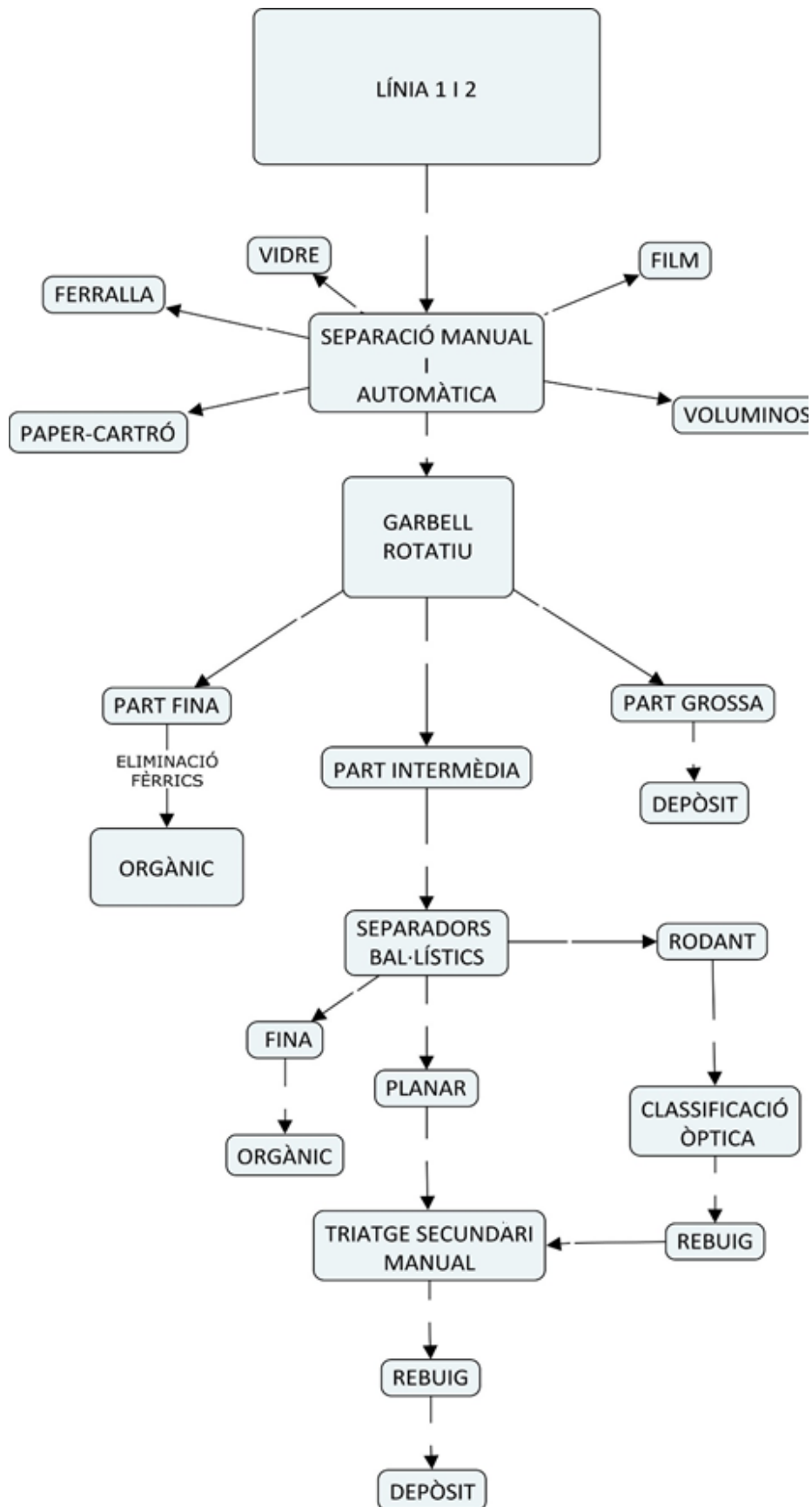


Figura I.13 Línies 1 i 2 de la planta de triatge i compostatge.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

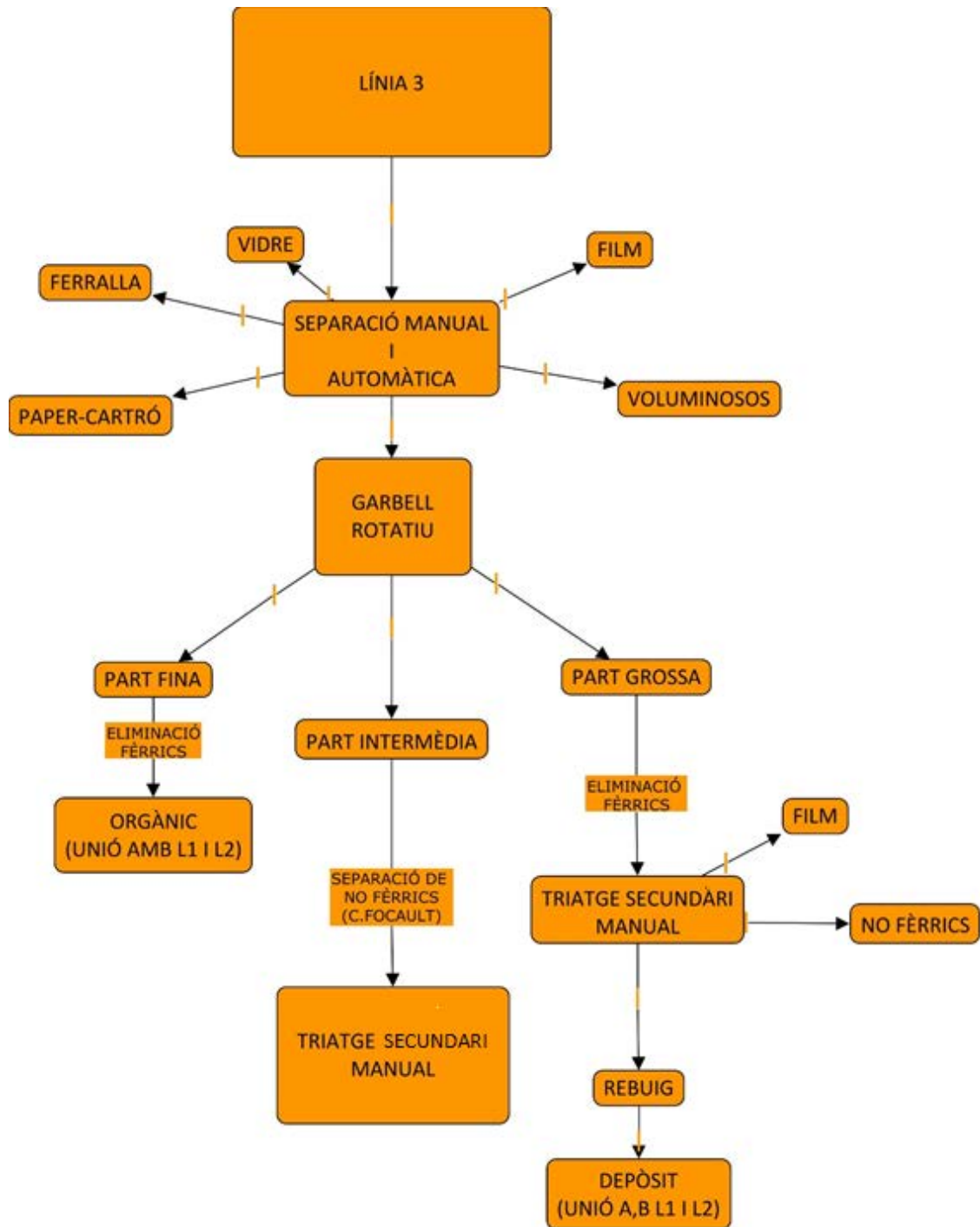


Figura I.14 Línia 3 de la planta de triatge i compostatge.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

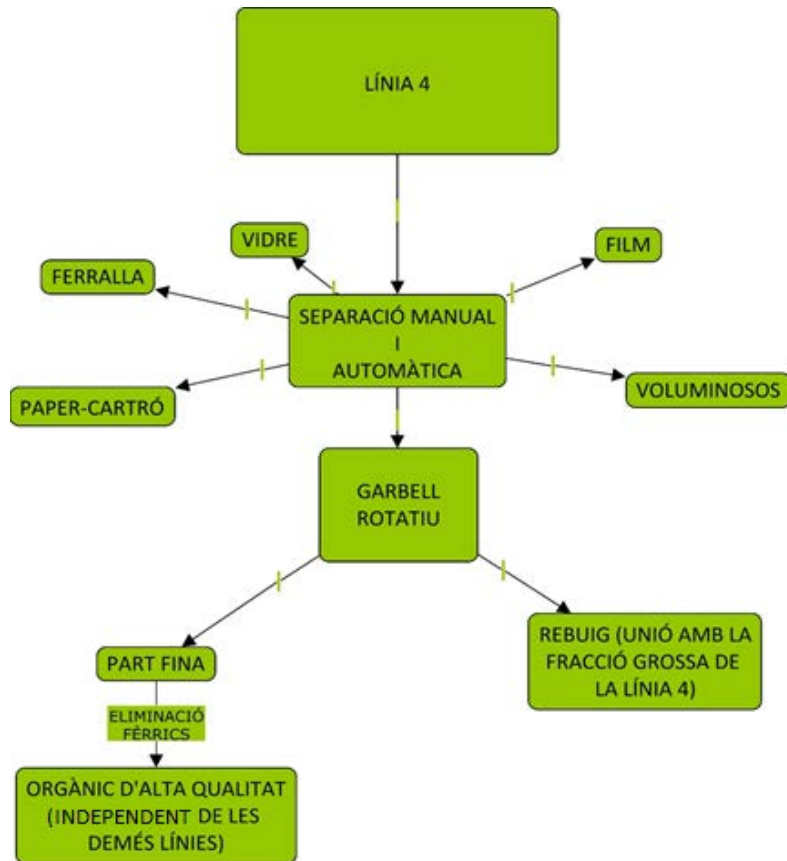


Figura I.15 Línia 4 de la planta de triatge i compostatge.

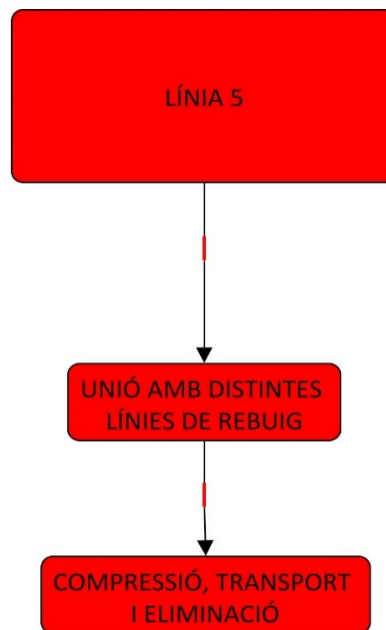


Figura I.16 Línia 5 de la planta de triatge i compostatge.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Encara que la planta disposa de les instal·lacions necessàries per a l'activitat de les 5 línies de manera simultània, la línia 4 funciona també com a línia de la fracció "tot a una", ja que perquè aquesta línia fóra efectiva serien necessaris contenidors de recollida orgànica selectiva, que actualment només es troben a algunes poblacions de les pedanies de València; per tant, no és operatiu utilitzar aquesta línia per a l'obtenció de una fracció orgànica més pura que es puga traduir en un compost d'una qualitat més alta. No obstant, les èpoques en les quals hi ha un augment de la fracció orgànica selectiva als residus (quan existeixen residus de la poda municipal o residus agrícoles) sí que existeix la possibilitat de fer treballar aquesta línia per al seu propòsit.

- **Àrea de compostatge:** Les distintes fraccions orgàniques separades a les línies comentades anteriorment són utilitzades per a la producció, la maduració, el refinament i l'emmagatzemament del compost en naus tancades, les quals incorporen també biofiltres per al tractament de les olors. Actualment existeixen dues variants per a l'obtenció del compost: mitjançant túnels de compostatge o mitjançant una rotopala (sistema totalment automàtic). Aquesta àrea també disposa d'una estació depuradora (EDAR)per a la recollida i tractament de les aigües residuals, els lixiviats i les aigües pluvials de la zona.
- **Àrea d'administració:** En aquesta zona s'allotgen principalment les oficines, la recepció i els laboratoris. Als laboratoris es realitzen principalment tasques d'anàlisi de paràmetres de qualitat del compost o l'índex de la toxicitat dels lixiviats.
- **Àrea de possibles ampliacions:** Com el seu propi nom indica, aquest terreny està destinat a les possibles ampliacions de la planta en els anys vinents.

2.1.3. Balanç de matèria de la planta

La figura I.17 mostra el balanç de matèria de la planta de triatge i compostatge. Aquest balanç permetrà l'estimació tant de les tones de rebuig que finalment són portades a l'abocador controlat com el percentatge de cada fracció que en forma part del rebuig a l'actualitat.

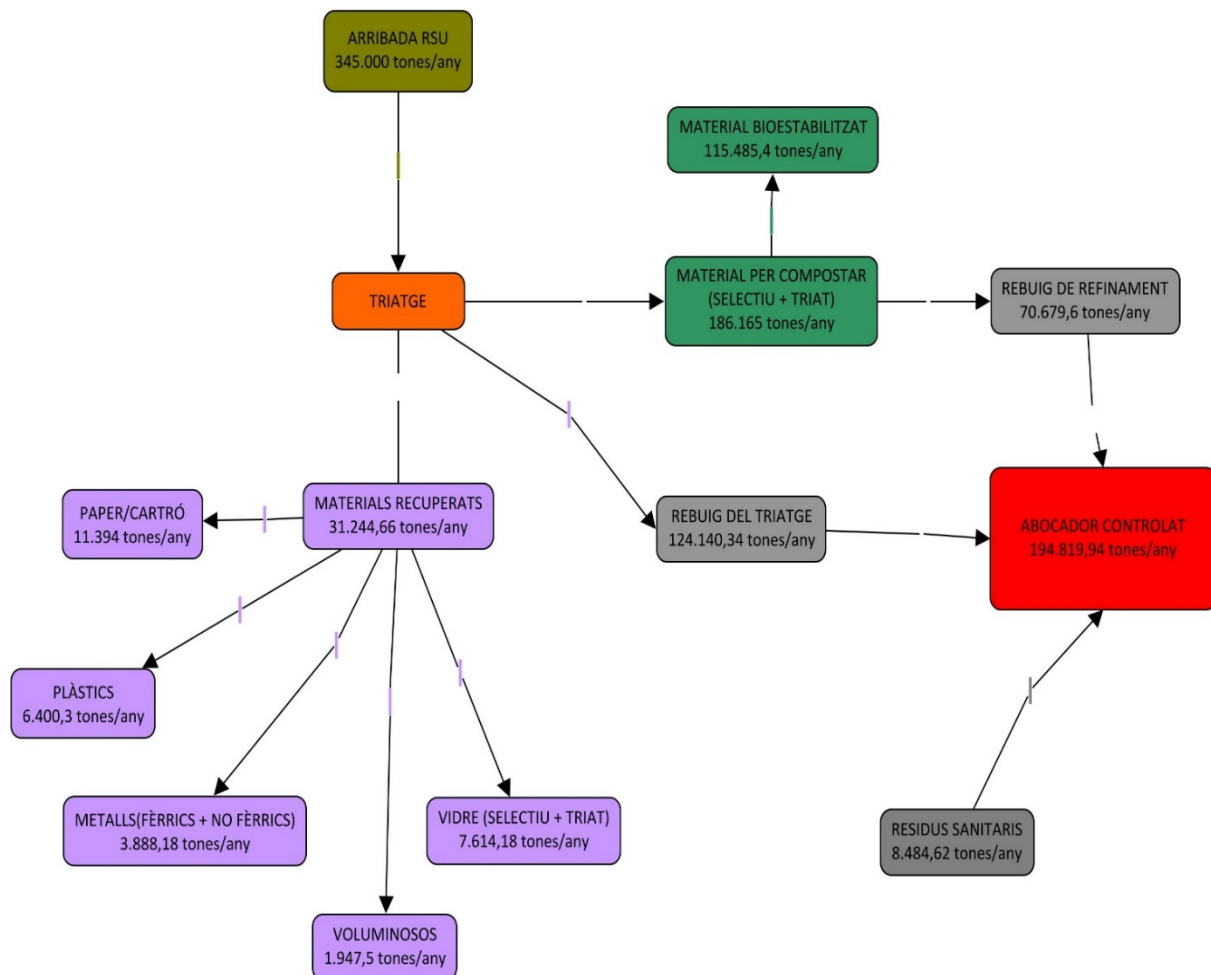


Figura I.17 Balanç de matèria de la planta de triatge i compostatge

Font: Planta de triatge i compostatge de València.

A més, amb aquest balanç simplificat i, coneixent les quantitats de cada fracció recuperada i el rebuig total en el procés de triatge, es poden estimar les taxes de recuperació de la planta, les quals es mostren a la figura I.18.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| Fracció | Tones que entren a planta (figura I.12) | Tones recuperades (figural.16) | Taxa de recuperació (%) |
|---------|---|--------------------------------|-------------------------|
| Orgànic | 188784 | 186165* | 98,6* |
| Paper | 49921,5 | 11394 | 22,8 |
| Plàstic | 34983 | 6400,3 | 18,3 |
| Vidre | 23494,5 | 7614,2 | 32,4 |
| Tèxtil | 19423,5 | 0 | 0 |
| Metalls | 14179,5 | 3888,2 | 27,4 |

*Les tones recuperades de matèria orgànica han sigut considerades 100% orgàniques, és a dir, considerant també com a matèria orgànica el rebuig del refinament que es mostra a la figura I.17, cosa que no és certa. La composició real del rebuig del refinament es contempla més avant.

Taula I.3 Procés de càlcul de la taxa de recuperació de cada fracció aconseguida a la planta de triatge i compostatge.

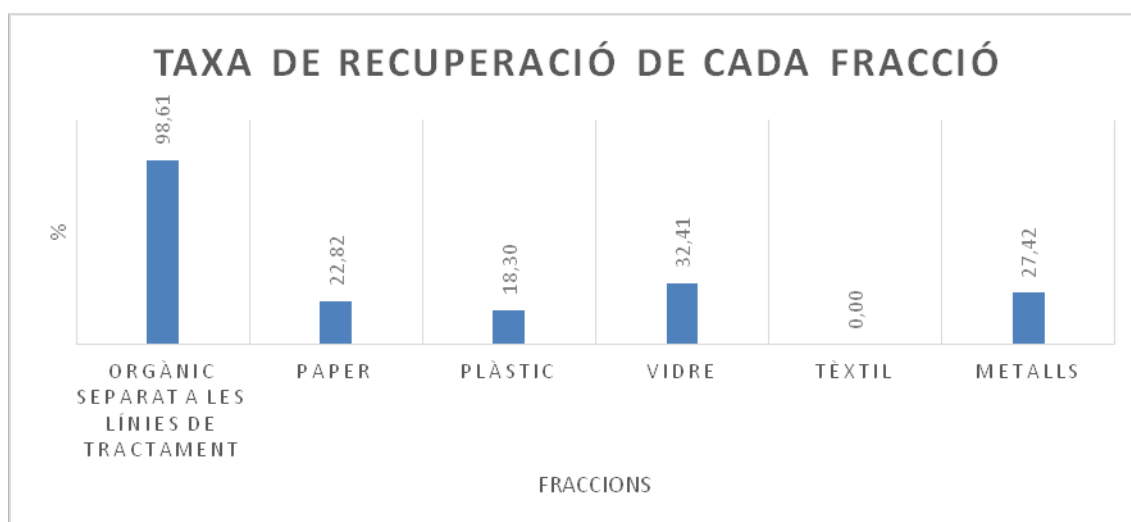


Figura I.18 Taxes de recuperació calculades de les distintes fraccions a la planta de triatge i compostatge.

2.1.4. Càlcul de la composició del rebuig.

A partir de la taula I.3 si es fa la diferència entre el valor de les tones que entren en planta menys les tones que es recuperen a aquesta s'obtidran les tones de cada fracció en el rebuig del triatge i a això cal sumar-li el rebuig del refinament per saber el percentatge de cada fracció en el

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

rebuig final (no es tindran en compte els residus sanitaris ja que s'eliminen directament). El procés descrit es mostra a la taula I.4 i el resultat, a la figura I.19.

| Fracció | Tones al rebuig final | (%) en la composició |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Orgànic | 2619 | 1 |
| Paper | 38527,5 | 20 |
| Plàstics | 28582,7 | 15 |
| Vidre | 15880,32 | 8 |
| Tèxtil | 19423,5 | 10 |
| Metalls | 10291,32 | 5 |
| Altres | 8816 | 5 |
| Rebuig del refinament | 70679 | 36 |
| Tones de rebuig final | 194819,94 | |

Taula I.4 Càlcul de la composició final del rebuig a la planta de triatge i compostatge.

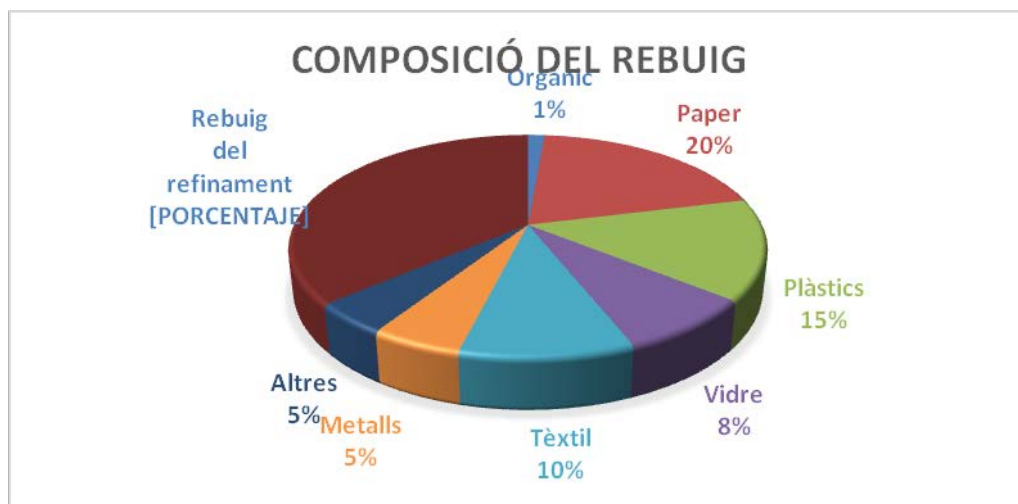


Figura I.19 Composició final del rebuig de la planta de triatge i compostatge.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

De la figura anterior destaca principalment la gran fracció que ocupa els rebuig del refinament del compost (propera al 40% que se separa del compost ja estabilitzat per lliurar-lo de les impureses amb una granulometria major) que bàsicament el formen parts de la fracció orgànica(58,5%), fragments de vidre (28,4%), paper/cartró (2,5%), plàstics mixtes(3,5%), metalls(1,8%) i altres(5,3%).

2.2. Conclusions

Observant les dades anteriors, el que primer crida l'atenció és l'enorme fracció del rebuig que acaba en l'abocador procedent del triatge (124.000 tones de les 345.000 tones d'entrada, aproximadament un 36%), i això sense tenir en compte el rebuig del refinament en la producció de compost que degut principalment a la granulometria i al seu estat no passa per cap procés de selecció, sinó que directament és enviat a l'abocador. També s'han de destacar les relativament baixes taxes de recuperació de cada fracció, ja que només es recuperen en planta vora el 20% dels plàstics, el 23% del paper/cartró, el 32% del vidre o el 27% dels metalls(fèrrics i no fèrrics). Davant d'aquesta situació, s'han de plantejar alternatives i millores per millorar aquestes taxes.

3. Cerca d'alternatives

3.1. Anàlisi de la situació i procediments d'actuació

La gran reducció de la quantitat de residus que acaben en un abocador controlat que proposa la CE (del 60% actual fins a un 10% en el cas d'Espanya) fa necessària la cerca d'alternatives a l'abocament convencional, ja que per exemple a la planta objecte de l'estudi s'hauria de passar de les quasi 200.000 Tones anuals d'enviament a abocador a aproximadament 40.000 el que ara mateix suposa un objectiu impossible d'assolir. No obstant això, es possible plantejar diverses alternatives que es dividiran en dos grans grups: *a priori* i *a posteriori*.

- **Alternatives *a priori*:** Aquestes són les millors opcions en qualsevol situació ja que són totalment preventives. Com el seu nom indica, aquests procediments són d'aplicació prèvia a l'enviament del rebuig als abocadors i simplement es basen en l'optimització dels sistemes de gestió actuals. Algunes de les alternatives es detallen a continuació:
 - Utilització de contenidors per a recollida selectiva únicament de la fracció orgànica.
 - Instal·lació de contenidors intel·ligents, els quals registren el productor de residus i el tipus de residu del qual es desprenen. D'aquesta manera es pot tindre un control personalitzat del reciclatge de cada habitant.
 - Incentivar els habitants que reciclen adequadament i, per contra, sancionar aquells que no ho facen (aquesta mesura només pot ser implantada adequadament si es té un registre del reciclatge de cada persona, per exemple, amb els contenidors esmentats al punt anterior).
 - Instal·lació de màquines per a la retornabilitat d'envasos que tornen el cànon que s'acorde pagar de més quan es compre qualsevol article amb envàs retornable (refrescos, per exemple).
 - Intensificació de la legislació per a la reducció dels embalatges i dels productes de cicle de vida curt, els quals són els principals causants de la producció de residus.
 - Campanyes publicitàries estatals molt més àmplies destinades a la conscienciació del reciclatge i, sobretot, a la informació al ciutadà de la manera òptima de reciclar.
 - Conscienciació de la importància dels ecoparcs i millora de l'accessibilitat.
 - Modernització i ampliació dels sistemes de triatge de les plantes, tant manuals com automàtics.

Aquestes mesures són una solució per a la reducció directa dels residus, però encara així seguiria existint una generació de RU que seguiria acabant als abocadors, així doncs també és necessària la cerca d'alternatives *a posteriori*.

- **Alternatives *a posteriori*:** Com ja s'ha comentat abans, les mesures *a posteriori* són les solucions aplicables una vegada ja no siga possible el reciclatge dels residus, siga per l'estat en el que es troben o per ser elements que no tinguen un reciclatge possible. Una de les solucions que sorgeix amb més força és la valorització energètica dels RU. En aquesta línia, existeixen diverses alternatives per recuperar l'energia continguda en els residus, totes basades en la combustió controlada, les quals s'exposen a continuació:

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

- **Gasificació:** Bàsicament es tracta d'obtenir un gas de síntesi o "Syngas" a partir de components amb un alt contingut en carboni mitjançant un procés de piròlisi a baixa concentració d'oxigen en el qual s'aconsegueix el citat gas a partir de l'oxidació parcial dels components. En tenir poca presència d'oxigen, les emissions de CO₂ són reduïdes.
- **Piròlisi:** La piròlisi és un procés de combustió de característiques molt similars a la gasificació, és a dir: altes temperatures i una presència limitada de l'oxigen en la reacció. En el procés s'obtenen productes sòlids(amb necessitat d'un refinament posterior), líquids o gasosos, que són útils per a la producció d'energia en cremar-los.
- **Incineració:** La incineració es tracta bàsicament d'un procés de combustió completa (és a dir, amb excés d'oxigen) a partir del qual s'aprofita el calor generat en la citada combustió. Aquest procediment és menys eficient que els altres dos, ja que la quantitat d'energia recuperable és significativament menor en els dos processos anteriors.

A la taula I.5 es mostren els principals avantatges i inconvenients dels tres processos.

| | Gasificació | Piròlisi | Incineració |
|---------------|---|--|--|
| Avantatges | <ul style="list-style-type: none"> - Versatilitat en la valorització. - Bon rendiment elèctric. - Menor impacte ambiental. | <ul style="list-style-type: none"> - Obtenció de diversos productes útils. - Facilita el control de contaminació de l'aire. - Procés autosuficient. | <ul style="list-style-type: none"> -És el procés que millor balanç cost/resultat obté. - Importat reducció de volum. |
| Inconvenients | <ul style="list-style-type: none"> - Requereix d'unes infraestructures que encareixen molt el procés. | <ul style="list-style-type: none"> - La reducció de volum és menor que en la incineració. - És un procés relativament car. - Procés inestable. | <ul style="list-style-type: none"> -No facilita el control de contaminació de l'aire. - Alta emissió de dioxines. |

Taula I.5 Avantatges i inconvenients dels sistemes d'incineració, gasificació i piròlisi.

Analitzades aquestes tres tècniques de valorització energètica, s'ha conclòs que la incineració és el millor dels tres mètodes, principalment pel cost dels altres dos processos. No obstant això, existeix una alternativa emergent a la incineració directa dels residus basada en l'obtenció de combustibles alternatius partint dels residus destinats als abocadors controlats, el que s'anomena combustibles derivats dels residus (CDR/CSR), els quals poden ser usats en processos de combustió com a substitutius dels combustibles fòssils tradicionals amb un nivell molt menor d'emissions si estan gestionats adequadament. És, per tant, una alternativa molt prometedora i en la qual se centrarà l'objecte d'aquest treball.

3.2. Els CDR/CSR

L'article tercer de la Llei 22/2011, de 28 de juliol, de Residus i sòls contaminats defineix els termes residu, residus perillosos, residus comercials, residus domèstics i residus industrials de la següent manera[32]:

“Article 3. Definicions.

A l'efecte d'aquesta Llei s'entén per:

a) **«Residu»:** qualsevol substància o objecte que el seu posseïdor rebutge o tinga la intenció o l'obligació de rebutjar.

b) **«Residus domèstics»:** residus generats a les llars com a conseqüència de les activitats domèstiques. Es consideren també residus domèstics els similars als anteriors generats en serveis i indústries.

S'inclouen també en aquesta categoria els residus que es generen a les llars d'aparells elèctrics i electrònics, roba, piles, acumuladors, mobles i estris així com els residus i runes procedents d'obres menors de construcció i reparació domiciliària.

Tindran la consideració de residus domèstics els residus procedents de neteja de vies públiques, zones verdes, àrees recreatives i platges, els animals domèstics morts i els vehicles abandonats.

c) **«Residus comercials»:** residus generats per l'activitat pròpia del comerç, a l'engròs i al detall, dels serveis de restauració i bars, de les oficines i dels mercats, així com de la resta del sector serveis.

d) **«Residus industrials»:** residus resultants dels processos de fabricació, de transformació, d'utilització, de consum, de neteja o de manteniment generats per l'activitat industrial, excloses les emissions a l'atmosfera regulades en la Llei 34/2007, de 15 de novembre.

e) **«Residu perillós»:** residu que presenta una o diverses de les característiques perilloses enumerades en l'annex III, i aquell que pugui aprovar el Govern de conformitat amb el que estableix la normativa europea o en els convenis internacionals dels quals Espanya sigui part, així com els recipients i envasos que els hagin contingut (...).”

A partir d'aquesta informació es defineix com a:

- **“Refuse Derived Fuels (RDF)” o Combustibles Derivats de Residus (CDR):** aquells combustibles preparats a partir de residus perillosos o no perillosos que poden trobar-se tant en estat líquid com sòlid o gasós i que s'usen habitualment per a la valorització energètica tant en plantes d'incineració com de coïncineració. La diferència entre aquest tipus de combustibles .
- **“Solid Recovered Fuels (SDR)” o Combustibles Sòlids Recuperats (CSR) :** La única diferència entre els CSR i els CDR resideix en què mentre que els CSR compleixen amb la classificació establerta en la norma EN 15359 del Comitè Europeu de Normalització (CEN) (una classificació de combustibles basada principalment en el seu poder calorífic i els continguts

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

en Clor i Mercuri), els CDR no han de complir cap norma de qualitat establerta sinó que només han de complir les especificacions acordades entre el productor i el consumidor d'aquests, apart òbviament de la legislació mediambiental corresponent. A més, els CSR sols s'elaboren a partir de combustibles no perillosos. Per tot açò, els CSR solen ser combustibles d'una qualitat superior.

Els CDR/CSR es componen principalment de les fraccions paper/cartró, plàstics (procedents de les plantes de triatge i compostatge que no poden ser recuperats materialment per ser reciclats degut a l'estat en el que es troben), tèxtils i fustes, encara que també s'hi poden trobar entre d'altres residus: voluminosos, rebuig procedent de les plantes de reciclatge o fangs procedents d'estacions depuradores d'aigües residuals(EDAR).

Alguns d'aquests materials presenten les característiques necessàries per poder substituir els combustibles fòssils convencionals com poden ser: alt poder calorífic, baixa humitat, baix contingut en cendres i baixa proporció d'elements que provoquen emissions a l'atmosfera com són el sofre, el clor i els metalls pesants.

A la taula I.6 queden resumides les principals característiques dels CDR i CSR .

| | CDR | CSR |
|------------------|--|---|
| Característiques | <ul style="list-style-type: none"> - Formats a partir de residus, perillosos, no perillosos o inerts. - Estat sòlid, líquid o gasós. - Només han de complir la normativa mediambiental corresponent. - Les característiques del producte són establertes entre el productor i el client. | <ul style="list-style-type: none"> - No contenen residus perillosos. - Estat sòlid, líquid o gasós. -Es troben classificats segons les seues propietats a la norma EN 15359. |

Taula I.6 Principals característiques dels CDR i CSR.

Així doncs, els CDR/CSR es presenten com una alternativa als combustibles convencionals al mateix temps que són una solució a la reducció de la fracció que arriba als abocadors i ,a més, econòmicament són un producte molt barat, encara que en alguns casos pot ser necessària l'eliminació dels materials amb baix poder calorífic(materials no combustibles), la separació de les fraccions contaminants que poden quedar, la reducció de la humitat i l'adequació de la seua granulometria i densificació final, factors que poden encarrir el procés.

A Europa el mercat de CDR/CSR està totalment consolidat gràcies a països com Alemanya, Holanda, Suècia o Finlàndia entre d'altres, amb una producció de 14 milions de tones a l'any, amb l'esperança de duplicar o fins i tot triplicar aquesta xifra a llarg termini.

A Espanya, per contra, encara no existeix un mercat totalment consolidat. No obstant això, existeix una demanda emergent i creixent de CDR. Les característiques del CDR venen regulades d'un costat per les exigències del consumidor i per l'organisme mediambiental corresponent en cada Comunitat Autònoma. La demanda dels CDR a Espanya està directament relacionada amb la indústria cimentera, la qual va consumir l'any 2010 aproximadament 111.794 tones d'aquests CDR, encara que en un futur pròxim s'espera poder ampliar aquest mercat tant al sector del ciment com al de la generació d'energia, que n'és el principal mercat emergent.

3.3. Els CDR en la indústria del ciment

El sector productor de ciment és un dels majors generadors de CO₂ del món ja que en el procés de producció del ciment és necessària una gran quantitat d'energia. Tant és així, que la energia necessària arriba a representar més d'un 30% dels costos finals de producció i quasi un 2% del consum total d'energia a Espanya. Per aquest motiu, les cementeres són, hui per hui, un dels majors sectors demandants del CDR ja que l'augment del preu dels combustibles fòssils fa que utilitzar els CDR en el seu lloc resulte econòmicament favorable.

El consum dels CDR a les cementeres espanyoles ha crescut exponencialment en tot just cinc anys, essent nul a l'any 2007 i arribant a 111.794 tones l'any 2010 (4,29% del total), coincidint amb el gran decreixement de la producció a causa de la crisi econòmica que ha afectat greument al sector de la construcció. No obstant això, Espanya es troba prou a la cua en percentatge de substitució, i encara que en l'actualitat ha incrementat aquesta substitució fins al 16% encara queda lluny del valor mitjà europeu (25%) i de països capdavanters com Països Baixos (80%), Alemanya (58%) o Bèlgica (52%) entre d'altres. A la figura I.20 es pot observar el creixement de la demanda de CDR a Espanya comentat anteriorment.

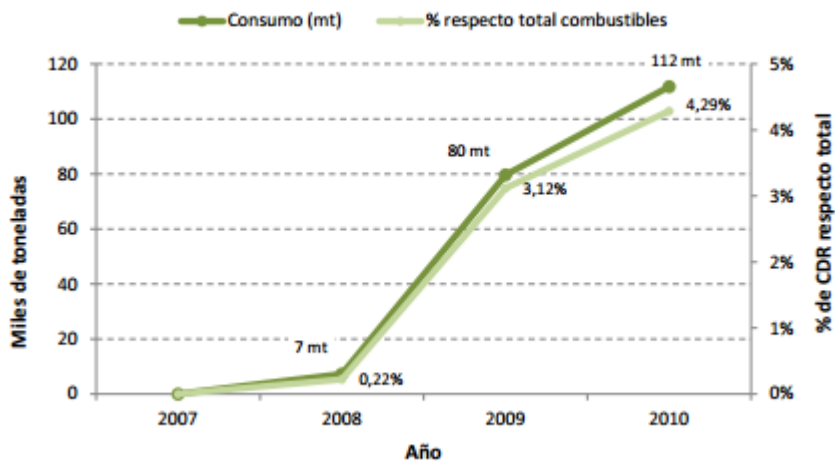


Figura I.20 Consum de CDR en cementeres espanyoles i pes dels CDR respecte al total de combustible utilitzat, 2007-2010.

Font: www.oficemen.com.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Les característiques que han de complir els combustibles alternatius perquè siga viable el seu ús a les cimenteres són les següents:

- Alt poder calorífic intern(PCI): Ha de ser com a mínim de 15 MJ/Kg (el PCI del carbó usat a les cimenteres és aproximadament de 25 MJ/Kg).
- Baixa humitat: inferior al 17%.
- Granulometria i densitat específiques.

Aquests valors s'han de prendre com a directrius d'un combustible de bona qualitat. En la realitat, és el propi client el que estableix els nivells mínims d'aquests paràmetres que, al seu criteri, proporcionen un resultat òptim.

Actualment existeixen dues opcions per utilitzar els CDR a les instal·lacions de les cimenteres. Per una banda es poden afegir els CDR mesclats amb el combustible fòssil necessari al precalcinador (el qual calcina la matèria primera abans d'introduir-la al forn) en el cas de que el procés dispose d'un. El precalcinador consumeix entre el 55 i el 60% de les necessitats energètiques de la planta, motiu pel qual resulta especialment interessant la substitució en aquest procés.

Per una altra banda, es poden usar els CDR com a substitutiu en els forns de clínquer, majoritàriament al forn principal, encara que també poden ser útils per al rescalfament en punts intermedis del forn. Cal tenir en compte, no obstant, que les especificacions del CDR en aquest últim cas són notablement més exigents, ja que en acabar el procés de combustió les restes del CDR s'incorporen al clínquer i és necessari que el combustible es creme per complet(alt PCI, baixa humitat i menor grandària de partícula), ja que la presència de substàncies estranyes podria perjudicar a la qualitat final del producte.

3.4 Pros i contres de la valorització dels CDR en la indústria del ciment.

Els avantatges i inconvenients de la valorització dels CDR en la indústria del ciment es detallen a continuació:

Avantatges:

- Redueix els costos de fabricació fins a un 30%, millorant la competitivitat.
- No genera pràcticament ni escòries ni cendres ja que al final del procés s'incorporen al clínquer.
- Les altes temperatures de treball destrueixen els compostos orgànics presents, com per exemple els furans.
- Redueix el depòsit de residus als abocadors.
- Redueix les emissions d'efecte hivernacle.
- Disminueix l'ús de matèries primeres.
- Disminueix el consum de combustibles fòssils.
- Estabilitat del procés de combustió.
- Existeix la possibilitat de rebre ajudes per la producció d'electricitat en règim especial.

Inconvenients:

- No tots els CDR poden ser valoritzats.
- El clor és un element molt perillós que està present en els CDR i cal eliminar-lo abans de la seua valorització.
- Els CDR també poden contenir concentracions importants de metalls pesants.
- Poden donar-se valors alts de NO_x a conseqüència de les altes temperatures. durant el procés, encara que no és comparable a l'ús de combustibles fòssils.
- Els límits d'emissions són més estrictes.
- El canvi en la composició dels residus segons l'època de l'any fa que siga necessari un estudi detallat de la variació estacional per estar segurs que els residus mantindran més o menys les mateixes característiques.
- També és important poder garantir un subministrament mínim a les instal·lacions.

A més, per poder utilitzar CDR a les instal·lacions d'una cementera, es requereixen algunes modificacions a les instal·lacions i els equips per adequar-los a la legislació d'emissions de partícules i altres contaminants, ja que aquesta és més restrictiva que la legislació per a l'ús de combustibles convencionals i, per tant, suposa una inversió extra en filtres per tractar els gasos i aparells de mesura d'emissions; a més; també pot ser necessària la construcció de noves infraestructures de recepció, emmagatzemament i alimentació.

A mode d'exemple, la taula I.7 mostra els diferents límits d'emissions d'alguns contaminants, on es pot apreciar la diferència dels límits depenent de si es tracta de combustibles fòssils o de CDR/CSR.

| Contaminants | Ús de combustibles fòssils | Ús de CDR/CSR |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| Partícules | 50 mg/Nm ³ | 30 mg/Nm ³ |
| SO ₂ | 600 mg/Nm ³ | 230 mg/Nm ³ |
| NO | 1200 mg/Nm ³ | 800 mg/Nm ³ |
| Hg | - | 0,05 mg/Nm ³ |
| HF | - | 1 mg/Nm ³ |
| COT | - | 10 mg/Nm ³ |
| HCl | - | 10 mg/Nm ³ |

Taula I.7 Variacions de límits d'emissió en funció del tipus de combustible utilitzat

Font: AAI d'una cementera, DOCV.

3.5. Conclusions

Com s'ha pogut comprovar, la incineració dels residus és una possible solució al gran problema que suposa la gran quantitat d'aquests que són produïts, i encara que la legislació actual imposa un límits d'emissió de contaminants més alts per a la incineració de CDR que per als combustibles de procedència fòssil, l'augment en l'ús dels primers ha crescut de forma exponencial.

També cal remarcar que encara que els avantatges de l'ús dels CDR són notables, moltes vegades es valoritzen residus que podrien ser perfectament reciclables o reutilitzables amb unes infraestructures i un procés òptim. La valorització d'aquests CDR reciclables comporta la pèrdua de matèria primera, ja que en no reciclar aquesta fracció és necessària la utilització dels recursos naturals per al procés de fabricació. És, per tant, un objectiu prioritari l'increment de les taxes de reciclatge de les distintes fraccions sobre la conversió d'aquests residus en CDR.

Així doncs, conegudes les diferents tècniques de valorització, el següent treball estudiarà els CDR/CSR com a possible alternativa per al rebuig destinat a un abocador controlat; concretament s'estudiarà el procés d'obtenció i es dissenyarà la solució preliminar per al seu ús en la indústria del ciment.

4. Estudi de la utilització del CDR en una cimentera

Una vegada plantejat el problema i la solució triada per a aquest, cal fer una recopilació de les característiques del rebuig final de la planta de triatge i compostatge per determinar si és necessari algun tipus de pretractament. Una vegada els paràmetres principals del futur CDR estiguin establerts, es procedirà al càlcul aproximat de les emissions per comparar amb la legislació ambiental corresponent i tindre coneixement de les tècniques necessàries a aplicar en el cas de què s'hagen de reduir per tal d'acomplir-la. Finalment també s'estudiaran les accions que s'han de prendre a la pròpia planta de triatge per enllestir el CDR i poder enviar-lo amb la fiabilitat i les garanties necessàries.

4.1. Paràmetres físics i químics del CDR

Encara que els CDR són una font potencial per a la generació de combustibles alternatius, la variació que poden sofrir segons alguns paràmetres, com la localització geogràfica de la planta o l'època de l'any, és un aspecte significatiu a tenir en compte. És per això que els consumidors d'aquests combustibles estableixen algunes de les propietats tant físiques o químiques que han de complir com el poder calorífic inferior (PCI), la humitat, concentracions d'alguns elements que provoquen emissions perjudicials o la granulometria i densitat d'aquests. A la taula I.9 es mostra la composició final del rebuig després de sumar-li a cada fracció les subfraccions que conformen el rebuig del refinament (cal dir que els plàstics ja venen desglossats segons la seua categoria per facilitar els càlculs posteriors. Els percentatges de desglossament es mostren a la taula I.8).

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| Fracció | % en la composició |
|---------|--------------------|
| PET | 14,3 |
| HDPE | 16,2 |
| PVC | 5,8 |
| LDPE | 29,3 |
| PP | 16,7 |
| PS | 5,5 |
| Mixtes | 12,2 |

Taula I.8 Desglossament de plàstics.

Font: PlasticsEurope.

| Fracció | Percentatge del total (%) |
|---------|---------------------------|
| Orgànic | 22,57 |
| Paper | 20,68 |
| Vidre | 18,45 |
| Tèxtil | 9,97 |
| Metalls | 5,94 |
| Altres | 6,45 |
| PET | 2,10 |
| HDPE | 2,38 |
| PVC | 0,85 |
| LDPE | 4,30 |
| PP | 2,45 |
| PS | 0,81 |
| ALTRES | 3,06 |

Taula I.9 Distribució completa del rebuig de la planta de triatge i compostatge per fraccions.

4.1.1. Poder Calorífic inferior(PCI)

El poder calorífic inferior és com es denomina a la quantitat d'energia en forma de calor que es desprèn per unitat de combustible en una combustió completa sense tenir en compte el calor latent generat pel vapor d'aigua en la citada combustió. És el paràmetre utilitzat per als usos industrials, ja que en eixir tots els gasos per la xemeneia junt amb el vapor d'aigua aquest no condensa i no existeix una aportació addicional de calor. En el cas dels residus, el PCI és un dels paràmetres més importants per a la seua valorització energètica i ha de ser controlat, ja que en ser un producte tan heterogeni, les distintes fraccions presenten un major o menor PCI, així que en el cas que una mostra no puga satisfer els paràmetres mínims de PCI s'hauran de retirar mitjançant maquinària específica les fraccions amb un PCI més baix. En referència a l'ús en el forn d'una cimentera, els valors del poder calorífic demandants estan entre 15 i 18 MJ/Kg. A la taula I.10 es mostra el valor típic de PCI de cada fracció i l'estimació del poder calorífic.

| Fracció | Percentatge en pes (%) | PCI*(kcal/Kg) |
|-------------------|------------------------|---------------|
| Orgànic | 22,57 | 1111 |
| Paper | 20,68 | 3900 |
| Vidre | 18,45 | 47 |
| Tèxtil | 9,97 | 4467 |
| Metalls | 5,94 | 16 |
| Altres | 6,45 | 4000 |
| PET | 2,10 | 10152 |
| HDPE | 2,38 | 11145 |
| PVC | 0,85 | 5290 |
| LDPE | 4,30 | 11130 |
| PP | 2,45 | 7450 |
| PS | 0,81 | 9160 |
| Mixtes | 3,06 | 7800 |
| Rebuig | 100 | 4048,4 |
| Rebuig (en MJ/Kg) | 100 | 16,93 |

Taula I.10 Càlcul del PCI el rebuig de la planta de triatge i compostatge.

*Font: Tchobanoglous, G., Theisen, H. i Vigil, S.A. (1998) "Gestión integral de residuos sólidos". McGrawHill.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

D'aquests resultats es pot concloure que si el rebuig té un baix poder calorífic serà necessari minimitzar el màxim possible les fraccions del vidre i els metalls. Per al cas d'estudi el PCI del CDR es troba al voltant de 17MJ/Kg, valor vàlid ja que com s'ha comentat anteriorment, el rang d'acceptació es troba entre els 15 i els 18 MJ/Kg i; per tant no faria falta intervenir retirant cap fracció.

4.1.2. Humitat

La humitat també és un paràmetre interessant en els residus ja que el nivell d'humitat afecta directament al PCI; així doncs, quan més alta siga la humitat, pitjor serà el poder calorífic. La humitat es concentra sobretot en la fracció orgànica, així que és important minimitzar-la si no es disposa d'algun sistema d'assecatge. També és interessant la minimització de la fracció orgànica en general ja que el seu poder calorífic és prou reduït; per tant, no interessa la seua valorització, sinó la seua utilització per a fabricar compost. Per poder fer-se una idea, els valors màxims d'humitat acceptables oscil·len entres el 15 i el 25% en pes. La taula I.11 conté el valor de la humitat de cada fracció i la estimació de la humitat del rebuig a partir de la seua ponderació.

| Fracció | Percentatge en pes (%) | Humitat (%) en pes |
|---------|------------------------|--------------------|
| Orgànic | 22,57 | 70 |
| Paper | 20,68 | 10,2 |
| Vidre | 18,45 | 2 |
| Tèxtil | 9,97 | 10 |
| Metalls | 5,94 | 2 |
| Altres | 6,45 | 5 |
| PET | 2,10 | 0,2 |
| HDPE | 2,38 | 0,2 |
| PVC | 0,85 | 0,2 |
| LDPE | 4,30 | 0,2 |
| PP | 2,45 | 0,2 |
| PS | 0,81 | 0,2 |
| Mixtes | 3,06 | 0,2 |
| Rebuig | | 15,89 |

Taula I.11 Càlcul de la humitat del rebuig de la planta de triatge i compostatge.

Font: Tchobanoglous, G., Theisen, H. i Vigil, S.A. (1998) "Gestión integral de residuos sólidos". McGrawHill.

Amb el valor obtingut el podem comparar amb el rang de valors acceptables per conèixer si serà necessari fer passar el CDR per un procés d'assecatge. Com ja s'ha dit abans, els valors acceptables d'humitat es troben entre el 15 i el 25% en pes, per tant, amb un valor de 15,89% en pes, no es necessita cap procés d'assecatge.

4.1.3. Concentracions d'elements generadors d'emissions

Algunes de les fraccions que formen part dels residus porten en la seua composició altes concentracions d'elements que reaccionen amb l'oxigen en la combustió i provoquen emissions de compostos nocius com el SO₂, HCl, NO, CO o metalls pesants. Així fraccions com el PVC (que conté un 45,4% en pes de clor) o les fraccions orgàniques i alguns tèxtils (contenen sofre) han de ser controlades en deteniment. Com a paràmetres de referència, la majoria de consumidors de CDR no accepten valors d'aquests elements (generalment clor i sofre) per damunt d'un 1% , ja que si aquestes emissions resulten altes, són necessàries inversions elevades en tècniques de depuració de gasos per complir la legislació. La taula I.12 presenta les concentracions de clor i sofre en el rebuig estudiat, les quals han sigut extretes després de realitzar els càlculs reflectits a la taula I.13).

| Element | Concentració(% en pes) |
|----------|------------------------|
| Clor(Cl) | 0,39 |
| Sofre | 0,15 |

Taula I.12 Concentracions de clor i sofre del rebuig de la planta de triatge i compostatge.

Encara que les dos concentracions són menors de l'1% en pes, la concentració de clor és significativament més alta que la de sofre, el que fa pensar que el clor serà un contaminant més a controlar que el sofre.

4.1.4. Granulometria i densitat

La granulometria i la densitat són dos paràmetres dels considerats homogeneïtzadors dels residus. La granulometria és un paràmetre important quan es tracta de combustió als forns, ja que amb una grandària menor, la mescla és més homogènia i es més fàcil que es pugui cremar tota durant el procés de combustió, amb la qual cosa les cendres que queden poden incorporar-se al clínquer sense que afecten a la seua qualitat perquè no hi ha impureses. Encara que la granulometria és un paràmetre desconegut en l'estudi se sap que en les condicions de sortida de la planta és totalment heterogènia. Les tècniques de trituració permeten homogeneïtzar els residus amb la granulometria desitjada.

Pel que fa a la densitat aquest és un paràmetre més de capacitat i transport. Amb una densitat major, és més fàcil transportar un pes major ja que ocupa un menor volum. Apart també es pot solucionar una major demanda energètica al forn incrementant la densitat podent suplir la major necessitat energètica del forn amb una massa major en el mateix volum. Per modificar la densitat són necessaris equips de premsat que poden modificar aquest paràmetre en un rang molt

ampli. El valor mitjà de la densitat dels RU és de 193 Kg/m³ [33] la qual cosa indica que són necessaris processos de premsat per facilitar tant el transport com la maniobrabilitat i l'entrada al forn.

4.2. Emissions en la cimentera

4.2.1. Legislació

Les emissions de determinats compostos en els gasos d'escapament de la combustió són, juntament amb el PCI, els dos principals paràmetres limitadors de qualsevol tipus de CDR, però a diferència del PCI les emissions no són una característica que es regula mitjançant la relació productor-consumidor, sinó que els valors màxims permissibles d'emissions atmosfèriques per a cada planta venen establertes en les denominades Autoritzacions Ambientals Integrades (AAI), les quals són una resolució del corresponent òrgan Autòmic de caràcter públic que permeten la realització d'una activitat determinada, sota la seguretat d'una protecció al medi ambient i a la seguretat de les persones. Com a exemple s'exposa la subsecció de l'AAI d'una cimentera referent a les emissions atmosfèriques quan s'utilitzen residus com a combustible alternatiu[34]:

“Primer. Concedir a la cimentera, l'autorització ambiental integrada per a les instal·lacions existents de fabricació de ciment, com també per a les modificacions que s'han de realitzar en les línies de producció de clínquer gris i blanc, que s'han de dur a terme en la planta situada en el terme municipal de Bunyol, referent al Projecte de sol·licitud d'autorització ambiental integrada de la fabrica de clínquer de Bunyol de data juliol del 2004 i subscrit pel Sr., que queda inscrita en el Registre General d'Instal·lacions

IPPC de la Comunitat Valenciana amb el numero 049-06/AAI/CV, condicionada al compliment dels requisits següents:

1. Valors límit d'emissió

1.1. Emissions atmosfèriques

1.1.1. Emissions difuses

A fi d'evitar les emissions difuses provinents de les operacions d'emmagatzemament, manipulació i transport de matèries primeres pulverulentes, es duran a terme les mesures següents:

– Tancament total o parcial de les instal·lacions d'emmagatzemament de materials pulverulents.

– Instal·lació de pantalles o altres mitjans de protecció contra el vent de les instal·lacions d'emmagatzemament, manipulació i transport de materials.

– Instal·lacions fixes o mòbils de condicionament de recollides de material per mitja de l'aplicació d'aigua o agents tensioactius.

- Tancament d'instal·lacions de transport i processament de materials.
- Aspirar i desempolsar instal·lacions d'emmagatzemament, transport, punts de transferència i de carrega i descarrega de materials pulverulents.
- Condicionament, pavimentació i neteja d'instal·lacions, de les vies de circulació i de les àrees d'estacionament de vehicles.

1.1.2. Emissions canalitzades

Emissions procedents del forn Dopol quan s'utilitzen residus com a combustibles alternatius:

CONTAMINANT/ VALOR LIMIT

PARTICULES 30 mg/Nm³ / 50 mg/Nm³(1)

SO₂ 230 mg/Nm³

NO_x 800 mg/Nm³/ 1200 mg/Nm³ (2)

HCl 10 mg/Nm³

HF 1 mg/Nm³

COT 190 mg/Nm³

Dioxines i furans 0,1 mg/Nm³

Cd+Tl 0,05 mg/Nm³

Hg 0,05 mg/Nm³

Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V 0,5 mg/Nm³

CO 2.000 mg/Nm³

(1) Valor de partícules mentre es coincineren menys de 3 tones/hora.

(2) Valor de NO_x mentre es coincineren menys de 3 tones/hora (...).

Resulta interessant fixar-se en l'última part de l'AAI on es pot observar la major restricció d'emissions de NO_x i partícules a l'atmosfera a partir de la coincineració de més de 3 tones /hora de CDR, aspecte que ja s'havia comentat al final del subapartat 3.4.

4.2.2 .Càlcul de les emissions de gasos

Coneguts els valors límit de les emissions atmosfèriques, és necessari calcular els valors de les emissions finals del CDR a utilitzar per poder estimar si serà necessària una modificació en la infraestructura del tractament de gasos per ajustar-se a la legislació de l'AAI més restrictiva per a l'ús de CDR que per a l'ús de combustibles fòssils(veure taula I.7). Així doncs, primerament s'han

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

d'establir les reaccions de combustió que van a produir-se amb cada fracció del residu, o per simplificar, si es coneix el percentatge de cada element que forma cada fracció del residu es podrà representar en un sol compost, fent la corresponent suma ponderada, el total del CDR, per la qual cosa només farà falta una reacció estequiomètrica. A més, també s'estudiaran les emissions del combustible convencional usat a les cimenteres, el carbó de coc, el qual servirà com a paràmetre de comparació però que també és necessari en el càlcul final d'emissions ja que en els forns de clínquer no s'utilitza un 100% de combustibles alternatius, sinó que es combinen ambdós tipus de combustibles. El procediment explicat en aquestes línies es resumeix en la taula I.13.

| Composició química (% en pes) | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|-------|------|------|------|----------|-------------|
| Fracció | %C | %H | %O | %N | %S | %Cl | %Cendres | % del Total |
| Orgànic | 48 | 6,4 | 37,6 | 2,6 | 0,4 | 0 | 5 | 22,57 |
| Paper | 43,7 | 6 | 44,3 | 0,15 | 0,1 | 0 | 8 | 20,68 |
| Vidre | 0,5 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0 | 0 | 98,9 | 18,45 |
| Tèxtil | 55 | 6,6 | 31,2 | 4,6 | 0,15 | 0 | 2,2 | 9,97 |
| Metalls | 4,5 | 0,6 | 4,3 | 0,1 | 0 | 0 | 90,5 | 5,94 |
| Altres | 26,3 | 3 | 2 | 0,5 | 0,2 | 0 | 68 | 6,45 |
| PET | 85,2 | 14,2 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,4 | 2,10 |
| HDPE | 85,2 | 14,2 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 | 2,38 |
| PVC | 45,2 | 5,6 | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 45,4 | 2 | 0,85 |
| LDPE | 85,2 | 14,2 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,4 | 4,3 |
| PP | 80 | 19,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 2,45 |
| PS | 87,1 | 8,4 | 4 | 0,2 | 0 | 0 | 0,3 | 0,81 |
| Mixt | 60 | 7,2 | 22,8 | 0 | 0 | 0 | 10 | 3,06 |
| Suma Ponderada | 39,5 | 5,65 | 21,96 | 1,14 | 0,15 | 0,39 | 31,38 | 100 |
| Carbó de coc | 85 | 10 | - | - | 2 | - | 3 | 100 |

Taula I.13 Composició química del carbó i càlcul de la composició química del rebuig.

Font: Tchobanoglous, G., Theisen, H. i Vigil, S.A. (1998) "Gestión integral de residuos sólidos". McGrawHill.

Una vegada coneguts els percentatges en pes de cada element químic del rebuig el que es fa és dividir cadascun entre el seu pes atòmic (PM) i després dividir cadascun d'ells entre el menor valor obtingut; d'aquesta manera s'obtiniran ja els coeficients de cada element i es podrà ajustar la reacció de combustió pertinent (En aquestes reaccions no s'inclouen les cendres, que es tindran en

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

compte més endavant). Entenent que "i" és cadascun dels elements químics, els càlculs queden de la següent manera:

$$A_i = \frac{\% \text{en pes de } i}{PM_i} \text{ Eq.(1)} \quad B_i = \frac{A_i}{\min(A_i)} \text{ Eq.(2)}$$

i=C,H,O,N,S,Cl.

On A_i : Fracció molar de cada element; B_i : Coeficient estequiomètric de cada element i PM : Pes atòmic.

| | Element | C | H | O | N | S | Cl |
|--------------|--------------------|-------|------|------|--------|---------|--------|
| | Pes atòmic (g/mol) | 12,01 | 1,01 | 16 | 14,02 | 32,06 | 35,46 |
| Rebuig | A | 3,28 | 5,59 | 1,37 | 0,0081 | 0,0046 | 0,0108 |
| | B | 710 | 1208 | 296 | 18 | 1 | 2 |
| Carbó de Coc | A' | 7,077 | 9,9 | - | - | 0,00623 | - |
| | B' | 114 | 159 | - | - | 1 | - |

Taula I.14 obtenció de la fracció molar i el coeficient estequiomètric.

Coneixent ja els valors dels coeficients que acompanyen a cada element ja es pot escriure la reacció estequiomètrica de combustió i així calcular segons les tones o mols de rebuig les tones o mols de gasos que produeixen. El pes atòmic del rebuig a estudiar també es pot calcular amb aquesta informació.

$$PM = \Sigma(B_i \times PM_i) \text{ (g/mol) Eq.(3)}$$

i=C,H,O,N,S,Cl.

$$n = \frac{1 Tm \times (1 - \% \text{cendres}) \times 10^6 \text{ (gr/Tona)}}{PM} \text{ (mol/Tona) Eq.(4)}$$

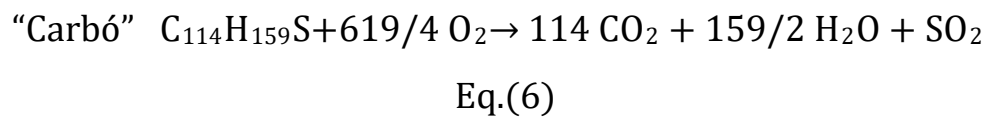
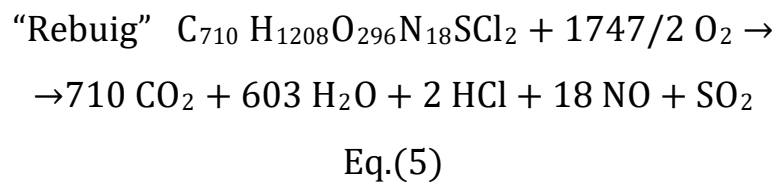
On n: nombre de mols per tona i PM : Pes atòmic.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| Combustible | Pes molecular (g/mol) | n(mol/Tona) |
|-------------|-----------------------|-------------|
| Rebuig | 14857,33 | 45,96 |
| Carbó | 1561,79 | 621,08 |

Taula I.15 Obtenció del pes atòmic i els mols per tona del rebuig i el carbó de coc.

I les reaccions químiques de combustió ajustades queden de la següent manera:



Finalment, a partir de l'estequiometria de les reaccions es poden calcular els mols que es formen de cada element i multiplicant-los pel pes atòmic, obtenir els kilograms per tona de combustible formats de cada compost.

$$n_i \left(\frac{mol}{Tm} \right) = \text{Quoficent estequiomètric} \times n_{\text{Rebuig}} \text{ Eq.(7)}$$

$$i(Kg/Tm) = n_i \cdot PM_i \text{ Eq.(8)}$$

$i = CO_2, H_2O, NO, SO_2, HCl$.

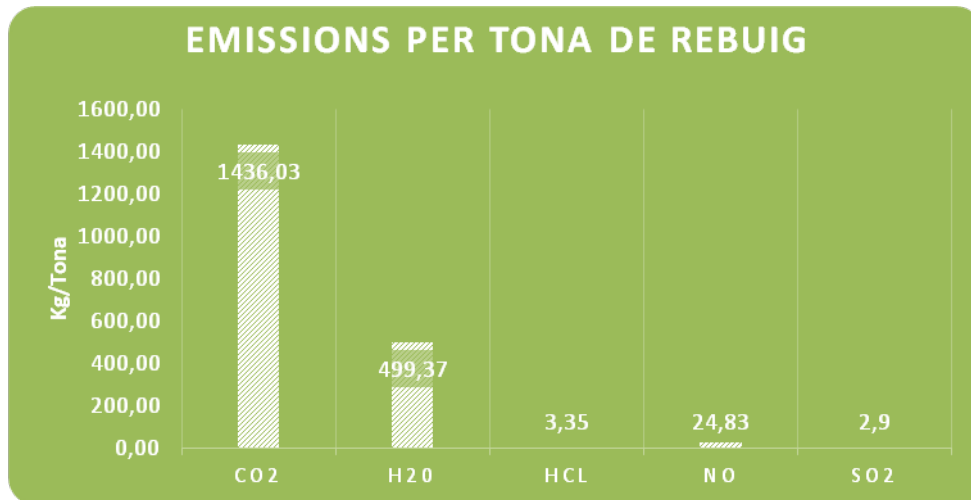


Figura I.21 Emissions de gasos per tona de rebuig.

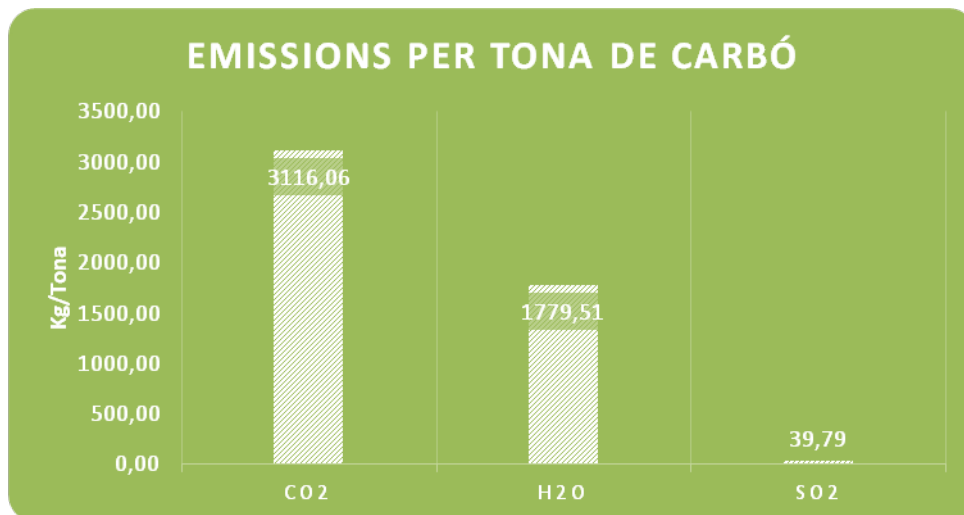


Figura I.22 Emissions de gasos per tona de carbó.

A les figures I.21 i I.22 es pot apreciar les diferències en composició dels dos combustibles emprats al forn de la cementera. Les variacions en les emissions són notables ja que en els productes com són el diòxid de carboni, diòxid de sofre i aigua, el carbó presenta uns valors notablement més alts que els dels components del rebuig, però cal fer un esment especial a les emissions de diòxid de sofre ja que són molt superiors a les del rebuig. És per aquest motiu que moltes vegades s'opta per una dessulfuració del carbó degut principalment als problemes d'emissions d'aquest producte. Per contra, el rebuig presenta emissions d'alguns productes que el carbó no genera com són l'àcid clorhídric i l'òxid de nitrogen que encara que són produïts en concentracions baixes, presenten una legislació restrictiva i han de ser controlats minuciosament.

Una vegada calculades les emissions per tona de rebuig i carbó, és necessari convertir els valors a l'ordre de magnitud utilitzat a les AAI on els límits de les emissions no venen referenciats per massa

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

de combustible sinó per cabal de gasos sortints per la xemeneia (mg/Nm^3). Caldrà llavors conèixer primerament el cabal de combustible entrant al forn, paràmetre que depèn de diversos factors :

- Per una part estan les necessitats energètiques. En tenir un menor poder calorífic els residus ($16,973 \text{ MJ}/\text{kg}$ en el cas estudiat) que el carbó utilitzat convencionalment (al voltant dels $25 \text{ MJ}/\text{kg}$) seran necessaris més kilograms de residus que de carbó per mantenir constant la producció al forn. No obstant això els residus tenen la l'avantatge de la seua compressibilitat, així que variant la densitat del producte es podrà introduir al forn més matèria en un menor volum.
- Per un altre costat es troba l'àmbit legislatiu, limitador en molts casos de la fracció màxima de rebuig que pot ser valoritzat en la combustió i també limitador de les emissions que poden ser produïdes, ja que com ja s'ha comentat anteriorment la legislació en matèria de combustibles alternatius és prou més exigent.

Així doncs, s'hauran d'estudiar diferents proporcions de combustibles alternatius amb convencionals per determinar quina és la mescla òptima i si són o no necessaris mètodes per a l'eliminació de components i depuració de gasos.

Tal i com s'ha indicat al paràgraf anterior, és necessari conèixer la quantitat de combustible per unitat de temps que s'ha de subministrar al forn per mantenir constant la producció de clínquer. Així doncs, la primera cosa a fer és un balanç de matèria de la combustió en el forn, el qual es resumeix a la figura I.23.

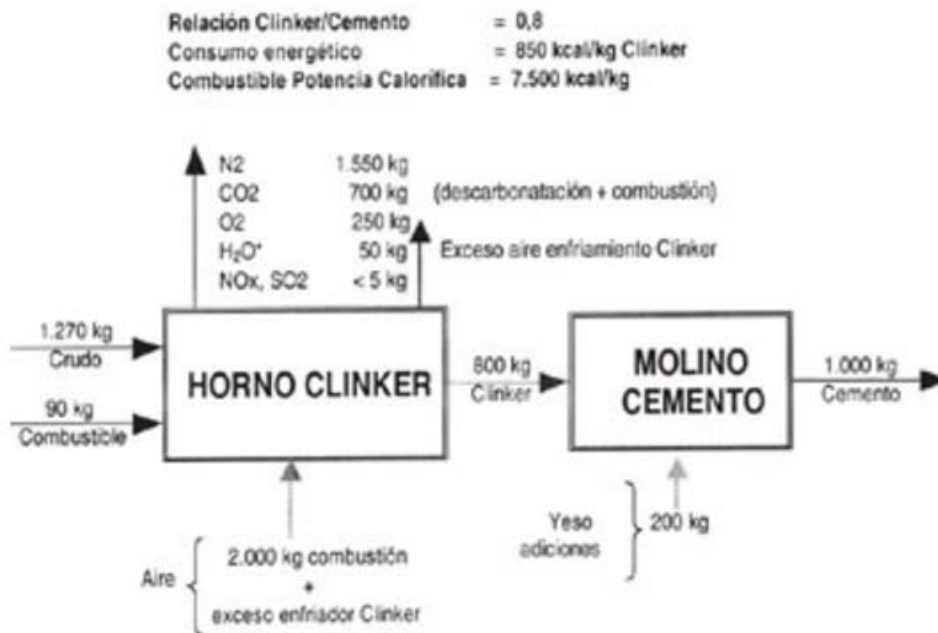


Figura I.23 Balanç de matèria d'un forn de producció de clínquer.

Font: concretonline.com.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Una vegada es té el balanç genèric, es pot estimar el cabal d'estudi a partir de la producció diària de clínquer, el percentatge màxim de substitució de combustibles alternatius en una cimenteres i la demanda energètica per tona de clínquer. Així doncs, i suposant que els forns de clínquer treballen ininterrompudament, la taula I.16 mostra els distints paràmetres buscats.

| | | |
|--|-------|---------------------|
| Producció diària de clínquer | 2500 | Tona/dia |
| Producció per hora de clínquer | 104,2 | Tona/hora |
| Màxim substituïble de combustible convencional | 40 | % |
| Demanda energètica | 3200 | MJ/Tona de clínquer |

Taula I.16 Producció diària de clínquer, màxim substituïble de combustible convencional i demanda energètica del forn de clínquer.

Font:(MTD documents BREF, AAI CEMEX).

Amb aquesta informació s'obté la demanda energètica per hora com el producte de la demanda energètica per tona i la producció per hora, i es podrà obtenir el cabal de residus màxim que es pot substituir d'una manera prou senzilla, ja que només s'ha de tenir en compte que de l'energia necessària per hora, els residus n'aportaran el 40%(se suposarà primerament que la substitució és la màxima possible i en el suposat cas de què es complira la legislació d'emissions , s'estaria en el cas òptim) i coneixent el PCI (taula I.10) dels residus es pot conèixer quina quantitat de residus es demanda.

| | | |
|---|--------|------|
| Càlcul de l'energia necessària per hora | 333440 | MJ/h |
| Càlcul de l'energia aportada pel rebuig | 133376 | MJ/h |
| Cabal de rebuig | 7,872 | t/h |

Taula I.17 Càlcul d l'energia aportada pel rebuig i del cabal necessari d'aquest.

I, anàlogament, es fa per al carbó de coc i es té en compte que aquest es troba en un 60% ,és a dir, la diferència entre el que aporten els residus i el total d'energia a aportar per hora, es tenen els valors de la taula I.18.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| | | |
|---|--------|------|
| Càlcul de l'energia necessària per hora | 333440 | MJ/h |
| Càlcul de l'energia aportada pel carbó de coc | 200064 | MJ/h |
| Cabal de carbó | 8 | t/h |

Taula I.18 Càlcul d l'energia aportada pel carbó i del cabal necessari del mateix.

Una vegada es coneixen els cabals dels diferents combustibles a introduir al forn, s'ha de calcular els mols dels gasos que són produïts en la combustió coneixent els mols de cada combustible que entren i utilitzant l'estequiometria de les reaccions de combustió ajustades (Eq.(5) i Eq.(6)) El procés de càlcul explicat es mostra a continuació:

$$n_j \left(\frac{\text{mol}}{\text{h}} \right) = Q_j \left(\frac{\text{t}}{\text{h}} \right) \times n_j \left(\frac{\text{mol}}{\text{t}} \right) \quad \text{Eq.(9)}$$

j=Rebuig, Carbó.

On n: nombre de mols; Q: cabal entrant al forn de clínquer.

| COMBUSTIBLE | Eq.(9) | nRebuig | |
|--------------------------|--------------|----------|-------|
| RU | 7,87*45,96 | 363,58 | mol/h |
| PRODUCTE DE LA COMBUSTIÓ | Bi*nRebuig | N | |
| CO ₂ | 710* nRebuig | 258142,7 | mol/h |
| H ₂ O | 603* nRebuig | 219239,5 | mol/h |
| HCl | 2* nRebuig | 727,16 | mol/h |
| NO | 18* nRebuig | 6544,46 | mol/h |
| SO ₂ | 1* nRebuig | 363,58 | mol/h |

Taula I.19 Obtenció del nombre de mols de cada producte de la combustió del rebuig.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| COMBUSTIBLE | Eq.(9) | nCarbó | |
|--------------------------|--------------------------------|----------|-------|
| CARBÓ DE COC | $8 \cdot 621,08$ | 4968,66 | mol/h |
| PRODUCTE DE LA COMBUSTIÓ | $B_i \cdot n_{\text{Carbó}}$ | n | |
| CO ₂ | $114 \cdot n_{\text{Carbó}}$ | 566427 | mol/h |
| H ₂ O | $159/2 \cdot n_{\text{Carbó}}$ | 395008,7 | mol/h |
| SO ₂ | $1 \cdot \text{Carbó}$ | 4968,66 | mol/h |

Taula I.20 Obtenció del nombre de mols de cada producte de la combustió del carbó.

Amb els mols per hora i mitjançant la llei dels gasos ideals es podrà estimar el volum de gasos sortints per la xemeneia, les concentracions de cada contaminant i els rendiments dels equips de depuració necessaris per complir la normativa a la planta cementera. No obstant això, per saber amb total exactitud el cabal de gasos sortints, encara s'ha de determinar el valor tant de l'oxigen en excés que no reaccionarà (la combustió es produeix amb un 30% d'oxigen de més) com del nitrogen de l'aire.

S'apliquen les equacions (7) i (9) per obtenir els mols d'oxigen, on el coeficient estequiòmetric s'extrau de l'equació (5) per al rebuig i l'equació (6) per al carbó.

| | Rebuig | Carbó | |
|--|-----------|----------|-------|
| Coeficient estequiòmetric | $1747/2$ | $619/4$ | - |
| O ₂ consumit Ec(7);Ec(9) | 317588,22 | 768900 | mol/h |
| O ₂ entrant (+30%) | 412864,68 | 999569,7 | mol/h |
| O ₂ sobrant | 95276,47 | 230669,9 | mol/h |

Taula I.21 Càlcul dels mols d'oxigen totals, consumits i restants del procés de combustió.

Ara només queda per determinar els mols de nitrogen en l'aire, es quals es poden calcular coneixent la composició d l'aire, la qual es resumeix a la figura I.24.

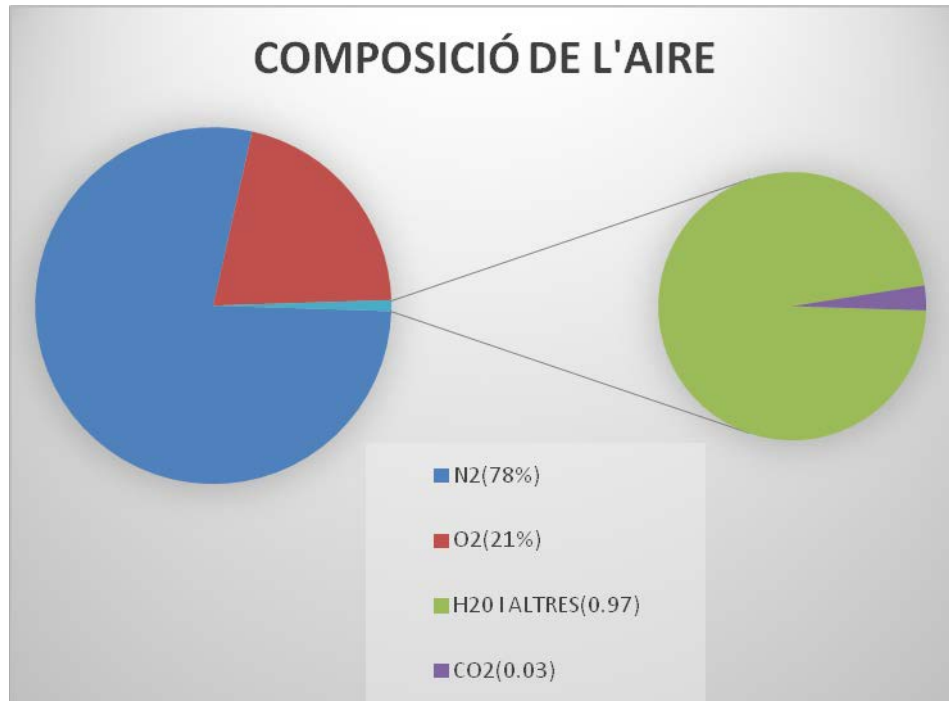


Figura I.24 Composició de l'aire.

Encara que la figura I.24 mostra unes mínimes concentracions d'aigua i diòxid de carboni, s'assumirà que aquestes són insignificants i, per tant, menyspreables, per la qual cosa el balanç final que s'utilitzarà per al càlcul serà de 79% de nitrogen i 21% d'oxigen. L'equació (10) i la taula I.18 mostren el procediment d'obtenció i els resultats obtinguts, respectivament.

$$nN_2 = 0,79 \times \left(\frac{nO_2 \text{ entrant}}{0,21} \right) \text{ Eq. (10)}$$

| | Rebuig | CARBÓ | |
|--------------------------|------------|-----------|-------|
| N ₂ DE L'AIRE | 1553157,62 | 3760268,1 | mol/h |

Taula I.22 Càlcul dels mols de nitrogen de l'aire emprats a la combustió.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Finalment, abans d'aplicar la llei dels gasos ideals cal fer un balanç de gasos per sumar-los i saber els mols totals sortints per la xemeneia, ja que es coneixen tots els productes de cada reacció i s'ha de sumar a aquests l'oxigen sobrant i els mols de nitrogen calculats. Utilitzant els valors de les taules I.19;I.20;I.21 i I.22, es té:

| FRACCIÓ | BALANÇ | VALOR | SUMA | |
|--------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|
| Rebuig | CO ₂ | 258142,7 | 2133451,5 | mol/h |
| | H ₂ O | 219239,5 | | |
| | HCl | 727,16 | | |
| | NO | 6544,46 | | |
| | SO ₂ | 363,6 | | |
| | O ₂ sobrant | 95276,5 | | |
| | N ₂ de l'aire | 1553157,6 | | |
| Carbó de coc | CO ₂ | 566427 | 4957360 | mol/h |
| | H ₂ O | 395008,7 | | |
| | SO ₂ | 4968,7 | | |
| | O ₂ sobrant | 230669,9 | | |
| | N ₂ de l'aire | 3760268,1 | | |

Taula I.23 Balanç de gasos sortints del forn de la cementera.

I ara s'aplica la llei dels gasos ideals Eq.(11) per obtenir el volum dels gasos (que caldrà passar de litres a metres cúbics) per sumar-los i calcular les concentracions.

$$V = \frac{nRT}{P} \text{ Eq.(11)}$$

On els valors de pressió, temperatura i constant dels gasos s'han de prendre, segons diu l'AAI, en condicions normals.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| | | |
|---|-------|-------------|
| P | 1 | atm |
| T | 273 | K |
| R | 0,082 | atm·l/mol·K |

Taula I.24 Pressió, temperatura i constant dels gasos ideals en condicions normals.

Aplicant ara l'equació(11):

| | Rebuig | Carbó | |
|-------------|----------|--------------------|--------------------|
| V | 47759 | 110975 | Nm ³ /h |
| Volum total | 158734,9 | Nm ³ /h | |

Taula I.25 Volum de total de gasos sortint en Nm³/h.

I les concentracions de cada compost es calculen de la següent manera:

$$[X] \left(\frac{mg}{Nm^3} \right) = \frac{Q \left(\frac{mol}{h} \right) \times PM \left(\frac{g}{mol} \right) \times 10^3 \left(\frac{mg}{g} \right)}{V_{total} \left(\frac{Nm^3}{h} \right)} \text{ Eq.(12)}$$

| EMISSIONS | | |
|------------------|-----------|---------------------|
| CO ₂ | 228615,82 | mg/ Nm ³ |
| H ₂ O | 69731 | mg/ Nm ³ |
| HCl | 167,06 | mg/ Nm ³ |
| NO | 1237,69 | mg/ Nm ³ |
| SO ₂ | 2151,91 | mg/ Nm ³ |

Taula I.26 Concentracions de contaminants en els gasos sortint

4.2.3. Càlcul de les emissions de partícules

Les partícules són diminutes parts del sòlid que es creen com a resultat de la combustió amb una composició tant química com granulomètrica heterogènia. Les citades partícules formen part de les cendres i finalment es desprenen d'aquestes en forma d'aerosol. Així doncs l'única forma de poder calcular la concentració de partícules és coneixent el tant per cent d'aquestes que es desprenen de les cendres, que en el cas d'estudi s'han estimat del 10%. Una vegada que es coneix la massa de partícules despreses (resultat del sumatori de les partícules que emet cada combustible segons el % de cendres que el formen) s'ha d'aplicar la mateixa equació que s'ha aplicat per a la resta de productes, és a dir l'equació(12). El resultat es mostra a la taula I.27.

| | | |
|--|--------|-------------------|
| Cendres a la composició del carbó (taula .12) | 0,03 | % |
| Cendres a la composició del residu taula(I.12) | 0,3138 | % |
| Cendres del carbó | 0,24 | t/h |
| Cendres del rebuig | 2,47 | t/h |
| Cendres totals | 2,71 | t/h |
| Partícules que es desprenen de les cendres | 0,1 | % |
| Partícules totals | 0,271 | t/h |
| Concentració de partícules Eq.(12) | 0,271 | mg/m ³ |

Taula I.27 Càlcul de la concentració de partícules

4.2.4. Anàlisi del CO₂ emès per la cimentera

El cas de les emissions de CO₂ és tractat d'una manera totalment diferent a la resta d'emissions ja que des de les competències europees s'estableixen els màxims d'emissió de CO₂ que cada país pot emetre, i partint d'aquest paràmetre, l'Estat distribueix el que s'anomenen els drets d'emissió per sector i dins d'aquest, de cada empresa.

El procés d'assignació de drets d'emissió el regula la Llei 1/2005, de 9 de Març, la qual obliga a aprovar, mitjançant un RD, un Pla Nacional d'Assignació amb vigència limitada. Així doncs, el primer d'aquests plans es va establir per al període 2005-2007, el segon, va tenir una vigència de 5 anys 2008-2012 i l'actual, comprèn el període 2013-2020. Cada Pla, al seu torn, a més d'establir els drets

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

d'emissió també defineix quines són les regles per determinar dites assignacions i la gestió dels anomenats drets de reserva que estan orientats principalment per a l'aparició de nous generadors o ampliacions dels ja existents.

Encara que actualment el Pla teòricament en vigor seria l'últim aprovat, és a dir, el corresponent al període 2013-2020, encara no es disposa encara de les dades d'assignació, per la qual cosa es treballarà amb l'anterior, 2008-2012.

| | |
|--|--|
| Cantidad total de derechos para el período 2008-2012, sectores incluidos en la Ley 1/2005. | Se propone el reparto de 144,848 Mt CO ₂ /año y una reserva adicional del 5,40 % para nuevos entrantes, resultando una asignación total de 152,673 Mt CO ₂ /año, con una reducción del 19,6% respecto a las emisiones de 2005 (189,85 Mt). |
| Nivel sectorial, sectores industriales. | Se asignan 73,64 Mt CO ₂ /año en 2008-2012 para los sectores industriales. La asignación se ha determinado aplicando un factor de intensidad de emisiones por unidad de producción. Se consideran para el cálculo las emisiones verificadas en el año 2005 y las cifras de producción para ese ejercicio. Este factor se ha ajustado teniendo en cuenta el potencial de reducción de emisiones de cada sector industrial. El factor de intensidad ajustado se ha aplicado a la producción de cada sector industrial prevista para el período 2008-2012. |

Figura I.25 Extracte del Pla Nacional D'assignació 2008-2012.

Font: Ministeri d'Agricultura i Medi Ambient.

| Sector | Emisiones | | | | | | | Asignación | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1990 | 2000 | 2001 | 2002 | 2005 | Promedio 2000-2005 | | Asignación efectiva en 2005 ¹⁾ | Asignación Promedio anual 2005-2007 | Asignación Promedio anual 2008-2012 |
| | Mill. Tm CO ₂ | Mill. Tm CO ₂ | Mill. Tm CO ₂ | Mill. Tm CO ₂ | Mill. Tm CO ₂ | Mill. Tm CO ₂ | PM/90 | Mill. Tm CO ₂ | Mill. Tm CO ₂ | Mill. Tm CO ₂ |
| 6. Instalaciones de fabricación de cemento sin pulverizar («clinker») en hornos rotatorios con una producción superior a 500 toneladas diarias, o de cal en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día, o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día. | 22,72 | 27,08 | 27,76 | 28,78 | 29,45 | 28,27 | 24,4% | 30,292 | 29,991 | 31,291 |
| Cemento | 21,14 | 24,99 | 25,68 | 26,58 | 27,38 | 26,16 | 23,7% | 27,836 | 27,535 | 29,015 |
| Cal | 1,58 | 2,09 | 2,08 | 2,20 | 2,06 | 2,11 | 33,4% | 2,456 | 2,456 | 2,276 |

Figura I.26 Extracte del Pla Nacional D'assignació 2008-2012.

Font: Ministeri d'Agricultura i Medi Ambient.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| Código | Instalación | Localidad | Comunidad Autónoma | Sector | Asignación (derechos) | | | | |
|----------------|---|-----------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| ES104606000633 | Cemex España S.A. (instalación de San Vicente de Raspeig - Alicante) | San Vicente de Raspeig (Alicante) | Comunidad Valenciana | Industria: cemento | 1.322.751 | 1.322.751 | 1.322.751 | 1.322.751 | 1.322.751 |

Figura I.27 Extracte de l'acord del consell de ministres, 2 de novembre de 2007.

Font: Ministeri d'Agricultura i Medi Ambient.

De les figures anteriors, la I.25 es correspon amb el citat Pla Nacional d'Assignació de l'any 2008-2012 i on es poden observar jeràrquicament ordenades, les emissions totals concedides a Espanya, les emissions totals concedides per al sector industrial i per últim les concedides al sector de la calç i el ciment. La figura I.26 es correspon amb l'acord arribat pel consell de ministres el 2 de novembre de 2007, on es va aprovar l'assignació individual de drets d'emissió i de la qual es mostren el valors per a una cimitera Valenciana.

Amb aquest paràmetre i coneixent les tones de diòxid de carboni que s'emeten per tona de cada combustible que es troben a les figures I.21 i I.22, es poden calcular les emissions de la cimitera (es considera com abans que el funcionament es ininterromput).

| | | |
|----------------------------|---------|-------|
| Tones anuals de RU | 68941,2 | Tones |
| Tones anuals de Carbó | 70080 | Tones |
| Emissions anuals de CDR | 99001 | Tones |
| Emissions anuals de Carbó | 218373 | Tones |
| Tones anuals totals emeses | 317374 | Tones |

Taula I.28 Càlcul de les tones de CO₂ emeses.

Òbviament les emissions de CO₂ del forn no arriben a cobrir les emissions totals permeses a la planta ja que el forn de clínquer no és l'únic procés que en desprèn (el precalcinador també ho fa, per exemple) i usualment es disposen de més línies de producció, encara que solen tenir un ús més complementari i la seua capacitat és notablement inferior a la del forn principal. No obstant això, en el cas de què en fer el balanç final d'emissions de CO₂ el resultat sobrepassés el límit permès, existeixen dues solucions: utilitzar un carbó de millor qualitat que tinga un poder calorífic més alt i que, per tant, siga necessària menys quantitat de carbó dins del forn, ja que el carbó és el principal productor de CO₂ en la combustió(triplifica quasi el valor del CDR) o comprar drets d'admissió. Aquesta alternativa és una solució ràpida al problema de l'excés d'emissions i bàsicament es tracta d'adquirir els drets d'emissió d'alguna altra empresa que en els seu balanç d'emissions tinga un excedent final d'emissions assignades.

Finalment, queda dir que l'ús dels CDR redueix d'una manera significativa les emissions de CO₂, sent un dels motius de pes per al seu ús. No obstant, els CDR presenten en la seua composició química altres elements com el clor o l'hidrogen, el que provoca altes emissions d'altres contaminants i desemboca en una inversió major en equips de depuració a la cementera.

4.2.5. Simplificacions efectuades en els càlculs

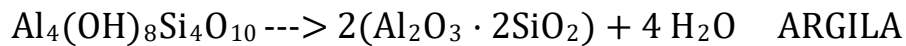
Per poder dur a terme els càlculs de les emissions, s'han pres una sèrie de simplificacions per facilitar-los, ja que de no ser així seria necessari aprofundir en alguns aspectes que queden fora de l'abast d'aquest treball. Sobra dir que per obtindre uns resultats més fidels a cada cas, no s'haurien de fer les simplificacions que ara es comentaran ni s'haurien de prendre valors típics, sinó estudiar detingudament cadascun dels paràmetres.

Les simplificacions efectuades són les següents:

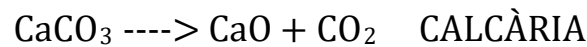
- S'han considerat menyspreables les concentracions de metalls pesants, de dioxines, NO₂ i SO₃.
- Tampoc s'ha considerat la formació de CO, ja que la combustió se suposa completa.
- La combustió completa s'ha pres amb un excés del 30% d'oxigen. Caldria conèixer el valor real utilitzat a la cementera. Si el valor real fóra inferior, sobraria menys i les concentracions de contaminants calculades serien superiors, i això afectaria als rendiments de depuració necessaris, els quals haurien de ser majors.
- La composició de cendres del carbó de coc s'ha pres d'un 3%. Caldria conèixer el valor real del carbó utilitzat a la cementera. Si aquest valor real fóra superior, la concentració de partícules calculada seria major, i això afectaria al rendiment de l'equip de depuració necessari, el qual hauria de ser més elevat.
- El PCI del carbó de l'estudi s'ha estimat de 25 MJ/Kg. Caldria conèixer el valor real del carbó utilitzat a la cementera. Si aquest valor real fóra superior, serien necessaris menys Kg de carbó per cobrir la demanda i això provocaria unes emissions de contaminants menors, sent això un avantatge; però, per una altra part, un carbó amb major PCI pot ser un inconvenient des del punt de vista de la inversió en maquinària a la planta de triatge i compostatge, tenint en compte que segurament amb un carbó que tinga un PCI més alt, el volum d'admissió de combustible del forn de clínquer serà més menut ja que no serà necessari disposar d'un forn amb tanta capacitat de càrrega i, per tant, es necessitarà una inversió extra en sistemes de pelletització que puguen obtenir un CDR final amb una densitat més elevada.
- En el càlcul de les emissions, no s'ha considerat la humitat del CDR, ni del carbó ni de les matèries primeres emprades per produir el clínquer. Aquesta humitat s'evaporaria al forn i això incrementaria el cabal de gasos d'eixida, disminuint les concentracions de les emissions de contaminants i, per tant, serien necessaris menors rendiments als equips de depuració. Cal indicar que el grau d'humitat del carbó està al voltant del 10-15% en pes, però a les

cimenteres és assecat abans d'entrar al forn fins un valor de l'1%. En el cas del CDR es podria plantejar també l'opció d'assecar-lo a la planta cimentera abans d'introduir-lo al forn.

- En la composició de l'aire, s'han menyspreat les concentracions d'aigua i CO₂, que suposen aproximadament un 1% del total, i s'ha assumit que la composició de l'aire és la següent: 79% hidrogen (H₂) i 21% oxigen (O₂).
- S'ha menyspreat la formació d'NO tèrmic al forn, és a dir, el format quan el N₂ de l'aire reacciona amb l'O₂ sobrant a les altes temperatures aconseguïdes al forn. Si no es menyspreara aquest valor, les concentracions de NO calculades serien més elevades i, per tant, l'equip necessari de depuració requeriria un rendiment més alt.
- S'ha menyspreat la formació de CO₂ i de H₂O degut a les reaccions de formació de descomposició de la calcària i l'argila als forns de clínquer i que es mostren a les següents equacions:



Eq.(13)



Eq.(14)

El resultat de tenir en compte la formació d'aquests dos gasos, que finalment acaben sortint amb la resta de gasos provinents de la combustió, es materialitzaria en un increment del cabal de gasos d'eixida i, per tant, en una disminució de la concentració dels contaminants, i això afectarà als rendiments necessaris dels equips de depuració, els quals seran menors.

4.3. Estimació del rendiment dels equips de tractament de les emissions

Una vegada conegudes les emissions, és necessari adquirir l'equipament amb el rendiment adequat per a l'adaptació a la legislació recollida en l'AAI de la cimentera. Ara bé, per estar segurs de quina és la millor manera de procedir cal accedir a les guies de les millors tècniques disponibles (MTD) per a la indústria de clínquer on es descriuen tots els processos d'eliminació per component. A més de descriure aquest equipament, les MTD també fan recomanacions de com tractar i incorporar el combustible per reduir al màxim les emissions. De les diferents tècniques comentades a les MTD s'exposen ací les escollides per a cada compost i el càlcul del rendiment necessari[35]:

"Emissions de partícules

Precipitadors electrostàtics.

Els precipitadors electrostàtics (ESP) generen un camp electrostàtic en la trajectòria que segueixen les partícules dins del corrent d'aire. Les partícules adquireixen una càrrega negativa i es desplacen cap a les plaques col·lectores carregades positivament. Les plaques col·lectores es sacsegen o vibren periòdicament, desallotjant el material adherit perquè caiga en les tremuges de recollida col·locades sota.

És important optimitzar els cicles de sacsejada de l'ESP per reduir al mínim els nous arrossegaments de pols i el seu potencial per afectar la visibilitat del plomall. Els ESP es caracteritzen per la seva capacitat per funcionar en condicions d'altres temperatures (fins a 400°C aproximadament) i d'elevat nivell d'humitat. Els principals inconvenients d'aquesta tècnica són la seva menor eficàcia quan es forma una capa aïllant i la possible acumulació de materials amb un alt contingut de clor i sofre. (...)

Emissions de NOx

Reducció No Catalítica Selectiva

La reducció no catalítica selectiva (SNCR) consisteix en la injecció d'una solució aquosa d'amoníac (fins a un 25% NH₃), de precursors de l'amoníac o d'una solució d'urea en el gas de combustió, amb la finalitat de reduir el NO a N₂. La reacció aconsegueix resultats òptims en un rang de temperatures de 830 a 1 050 ° C, i s'ha de disposar d'un temps de retenció suficient perquè els agents injectats puguin reaccionar amb ell.

Emissions de SOx

Depuradors humits.

La tècnica del depurador humit és la més utilitzada per a la dessulfuració dels gasos de combustió en les centrals elèctriques alimentades per carbó. En els processos de fabricació de ciment, la depuració humida per a la reducció de les emissions de SO₂ és una tècnica establerta.

La depuració humida es basa en la següent reacció química: $SO_2 + \frac{1}{2} O_2 + 2 H_2O + CaCO_3 \leftrightarrow CaSO_4 + 2 H_2O + CO_2$. Els SO_x s'absorbeixen amb una beurada aplicada mitjançant una torre de ruixat. El producte absorbent sol ser carbonat càlcic. Els depuradors humits són els que presenten la màxima eficàcia, entre tots els mètodes de dessulfuració dels gasos de combustió (FGD), per a la neteja de gasos àcids solubles, amb la desviació més baixa respecte als factors estequiomètrics i la menor taxa de producció de residus sòlids. La tècnica requereix utilitzar determinats volums d'aigua, el que comporta la necessitat de realitzar el tractament de les aigües residuals. "

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Un cas apart és el de l'àcid clorhídric (HCl) ja que el mètode principal per a la seua eliminació és bàsicament separar el component que el crea, és a dir, el clor contingut majoritàriament al PVC. D'aquesta manera si les emissions de clorhídric sobrepassen el mínim establert, caldrà fer ús d'un separador òptic. No obstant això, els depuradors humits també tenen la capacitat per retenir HCl amb un rendiment molt similar al que s'obté per a l'eliminació dels SOx. Encara així, s'optarà per l'ús de separadors òptics per evitar així qualsevol emissió de HCl a més de per recuperar el PVC i evitar que acabe valoritzat.

Com ja s'ha comentat anteriorment, les emissions mínimes venen determinades en l'AAI atorgada a la planta i que segons queda al document són(Nota: cal tenir en compte que es coincineraran més de 3 t/h de residus el que provoca que els límits siguen més restrictius):

| | | |
|-----------------|-----|--------------------|
| HCl | 10 | mg/m ³ |
| NO | 800 | mg/ m ³ |
| SO ₂ | 230 | mg/ m ³ |
| Partícules | 30 | mg/ m ³ |

Taula I.29 Límits d'emissió de compostos amb una coincineració major de 3 t/h de combustibles alternatius.

Font: AAI Bunyol.

El rendiment dels equips de depuració es calcula mitjançant la següent equació:

$$\eta = \frac{[final] - [legislació]}{[final]} \times 100 \text{ Eq.(15)}$$

I amb els valors de les taules I.26 i I.29 els rendiments mínims dels equips queden :

| EMISSIÓ | EQUIPAMENT | RENDIMENT(%) | RENDIMENT TÍPIC |
|-----------------|------------------|--------------|-----------------|
| SO ₂ | Rentador Humit | 89.3 | 98-99 |
| NO | SNCR | 35.36 | 40-55* |
| HCl | S. Òptic | 94.01 | 96-98 |
| PARTÍCULES | P. Electrostàtic | 98 | 97-99,9 |

*El rendiment varia notablement amb la temperatura dels gasos.

Taula I.30: Rendiment necessari i rendiments típics de cada equip

Font: MTD, documents BREF.

Com es pot observar, en principi tots els rendiments dels equips serien suficients per a complir amb la normativa requerida d'emissions. Així doncs, es pot concloure que la substitució d'un 40% del combustible convencional per combustible alternatiu (CDR) seria totalment viable pel que fa a l'emissió de contaminants. No obstant això, s'hauria de posar especial atenció en el rendiment del precipitador electrostàtic ja que paràmetres com la parcial obstrucció de les plaques col·lectores o la sobrecàrrega de les tremuges poden disminuir el rendiment, el que provocaria l'incompliment de la normativa.

4.4. Estimació de la densitat mínima del CDR

Una vegada assegurat el compliment de la legislació d'emissions, queda per determinar el procés de pretractament que sofriran els RU abans de ser enviats al client. Com ja s'ha comentat en el subapartat 4.1.4, la densitat final del CDR és un paràmetre important no ja sols des del punt de vista de la facilitat de transport si no del cabal necessari de combustible ja que si el forn té unes necessitats energètiques de 3200 MJ/Kg i el cabal tant de carbó com de CDR són 8 i 7.8 tones per hora respectivament (tal i com s'ha comentat les taules I.17 i I.18), la densitat del combustible substituït ha de ser tal que encara que tinga un PCI menor i per tant el seu cabal siga major, ocupe exactament el mateix volum que la part del combustible convencional a la qual ha substituït. Així doncs, amb les dades comentades en aquest paràgraf, les densitats de cada component i suposant que el forn, encara que treballa amb alimentació continua i funcionament ininterromput, te una autonomia de una hora a màxima capacitat podem estimar la densitat mínima final del producte.

$$V_{forn}(m^3) = \frac{\rho(100\% \text{ carbó})}{m(\frac{t}{h})} \text{Eq.(16)}$$

| | | |
|--------------------------------------|-----|-------------------|
| Densitat del CDR sense pretractament | 193 | Kg/m ³ |
| Densitat del carbó de coc | 450 | Kg/m ³ |

| | | |
|---|--------|-------------------|
| Cabal d'entrada al forn amb 100% de carbó | 13.33 | Tona/h |
| Volum que ocupa el carbó al forn amb 100% | 29.63 | m ³ |
| Cabal d'entrada al forn amb 60% de carbó | 8 | Tona/h |
| Volum que ocupa el carbó al forn amb 60% | 17.78 | m ³ |
| Volum a ocupar pel CDR | 11.85 | m ³ |
| Densitat mínima requerida per al CDR | 664.21 | Kg/m ³ |

Taula.31 Estimació de la densitat mínima del CDR.

Per obtenir aquesta densitat final són necessàries dues etapes: una primera etapa de trituració per homogeneïtzar tot el producte mitjançant una trituradora i una segona etapa de compressió i densificació. La forma final del CDR serà en forma de pellets, fàcils de transportar, amb un nivells d'humitat baixos i amb una capacitat de compressió de fins a 1,2 Tona/m³. Serà especialment important la determinació del nombre de màquines a adquirir en la planta per poder tractar el cabal de residus que el client demande.

4.5. Anàlisi de l'estacionalitat del CDR

La variació per estacions dels RU és un paràmetre clau a l'hora de poder oferir el CDR com a un producte real. Les cimenteres, per la seua banda, necessiten tenir la confiança de què en utilitzar combustibles alternatius podran disposar d'un subministre constant de la quantitat requerida per a les seues necessitats; per tant, es tracta d'avaluar si amb l'eixida de rebuig de la planta de triatge i compostatge es podran cobrir les necessitats del client. Per estimar la variació d'entrada de RU segons l'època de l'any, es multiplicaran els residus de la planta mensuals per un factor

d'estacionalitat de valor 0,75 (és a dir, estimant que en el mes on els residus siguen més baixos s'acomplirà la demanda).

Del balanç de matèria de la figura I.16 es pot fer una estimació dels residus per mes dividint el total de residus entre el nombre de mesos de l'any (sense comptar amb els residus sanitaris de classe II que son enviats directament a eliminació) i multiplicant pel factor d'estacionalitat per finalment comparar amb la demanda que ja ve calculada a la taula I.16.

| | | |
|-------------------------|----------|---|
| Residus per mes | 16235 | t |
| Factor d'estacionalitat | 0.75 | |
| Mes més desfavorable | 12176.24 | t |
| Demanda de CDR mensual | 5745.1 | t |

Taula I.32 Comprovació del compliment de la demanda mensual.

Vistos els valors resultants es pot afirmar que no hi haurà cap problema en el subministrament continu de CDR fins i tot en el mes més desfavorable ja que només se'n faria ús, en aquest cas, del 47.2% d'aquests. Cal també comentar la possibilitat de què a la cimentera existisquen altres línies auxiliars de producció de clínquer que utilitzen el CDR com a substitutiu, però al ser línies secundàries amb una producció més reduïda, no hi hauria problemes en cobrir aquesta hipotètica demanda.

4.6. Substitució màxima teòrica del carbó per CDR

Finalment, i com a procediment simplement teòric, s'ha optat per estudiar la hipòtesi de la màxima quantitat de CDR que podria ser substituïble al forn acomplint amb la legislació d'emissions. El procediment de càlcul es realitza mitjançant un recorregut invers al seguit, però en existir interpolacions i equacions amb més d'una incògnita s'ha optat per realitzar el procediment mitjançant una fulla de càlcul d'Excel i anar interpolant els valors de les proporcions de substitució. En realitzar aquest procediment cal fixar-se en quines són les emissions limitants, és a dir, aquells en les quals el rendiment dels equips no és molt alt (com és el cas de l'òxid de nitrogen amb un rendiment dels equips al voltant del 55% com a màxim), si existeix una situació en la que el rendiment necessari als equips ja exigeix uns valors considerablement alts (com per exemple, els valors d'àcid clorhídric i de la concentració de partícules).

A més, també podem realitzar una previsió de quins seran els paràmetres limitants observant l'alt contingut en cendres del CDR i la major presència d'elements que no es troben al carbó com el clor i el nitrogen, el que ratifica la hipòtesi anterior. Igual que s'ha pogut preveure un augment d'alguns paràmetres, també es pot preveure el decrement d'altres com en el cas del Diòxid de sofre ja que s'observa que el percentatge de sofre en la composició del carbó és molt major que en la dels residus (figures I.21 i I.22).

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Així doncs, realitzant la interpolació necessària en la fulla de càlcul, les dades queden recollides en la taula I.33, on queda un poc explicat l'impacte que suposaria aquest augment en la substitució (Nota: els rendiments del precipitador electrostàtic i la tècnica SNCR es consideren 99% i 55% , respectivament).

| | | |
|--|--------|-------------------|
| substitució màxima teòrica de CDR | 53 | % |
| Fracció restant de carbó | 46 | % |
| Rendiment per a les emissions de NO | 54.89 | % |
| Rendiment per a les emissions de partícules | 98.9 | % |
| Rendiment per a les emissions de HCl | 95.82 | % |
| Rendiment per a les emissions de SO ₂ | 87.5 | % |
| CDR necessari per hora | 10.62 | Tona |
| Carbó necessari per hora | 6.13 | Tona |
| Densitat mínima del CDR | 664.21 | Kg/m ³ |
| Demanda mensual de CDR | 7902 | Kg |
| Fracció dels residus aprofitada | 64.9 | % |

Taula I.33 Substitució màxima teòrica del carbó per CDR.

5. Maquinària a utilitzar

5.1 Descripció de les màquines

Com ja s'ha comentat breument en el subapartat 4.4, els residus de la planta de triatge i compostatge han de passar per una sèrie de pretractaments abans de poder ser enviats al client per al seu ús com a CDR. A diferència de l'equip necessari per a la depuració de gasos, que depèn totalment de les tecnologies que el client tinga preferència per utilitzar (les tècniques anteriorment suggerides en el subapartat 4.3 queden només a títol de recomanació), els equips de pretractament del rebuig han de ser adquirits per la pròpia planta de triatge i compostatge, és a dir, han de ser estudiats econòmicament per valorar la viabilitat del projecte. Bàsicament, la maquinària a adquirir consta de tres equips que s'explicaran a continuació: el separador òptic, la trituradora i la pelletitzadora.

- **Separador òptic:** Degut a les altes concentracions d'àcid clorhídric provocades quasi totalment per la presència de PVC és necessari usar aquest equip per eliminar aquest plàstic que presenta un 45.4% en pes de clor en la seua composició (taula I.13). El separador òptic es basa com el seu nom indica en la classificació de fraccions del residu per les seues propietats òptiques (color, reflexió, opacitat...).

Els residus dels quals es vol separar una fracció mitjançant aquest procés són introduïts en un alimentador vibrant que dirigeix el residu a una zona de "caiguda lliure" i on durant aquesta caiguda un circuit de càmeres òptiques compara els paràmetres dels residus que cauen amb un patró introduït per l'usuari, en aquest cas per eliminar el PVC.

Quan les càmeres detecten sòlids que aconsegueixen amb aquest patró, l'impulsen mitjançant un sistema d'aire a alta pressió a un dipòsit diferent de la resta de les fraccions del rebuig. Pel que fa al rendiment, aquest equipament és prou fiable ja que en les partícules separades no sol haver més d'un 5% d'impureses i aconsegueix una separació del total amb una fiabilitat d'entre un 95 i un 98%, suficient per separar les fraccions de PVC i complir la legislació (taula I.28).



Figura I.28 Funcionament d'un separador òptic.

Font:residuosprofesional.com.

- **Trituradora:** Les trituradores són màquines indicades per reduir la grandària original i homogeneïtzar els residus finals. Les trituradores, com ja s'ha comentat en el subapartat 4.4 és el primer dels dos processos que es realitzen previ a l'enviament al client del producte com a CDR. Bàsicament les trituradores consten d'una càmera principal oberta per dalt per on s'aboquen els residus i on cauen a la zona de les fulles tallants acoblades als eixos de la màquina (l'esquema es mostra a la figura I.28). El resultat d'aquest procés és un producte apte per poder introduir a la matriu de la pelletitzadora.

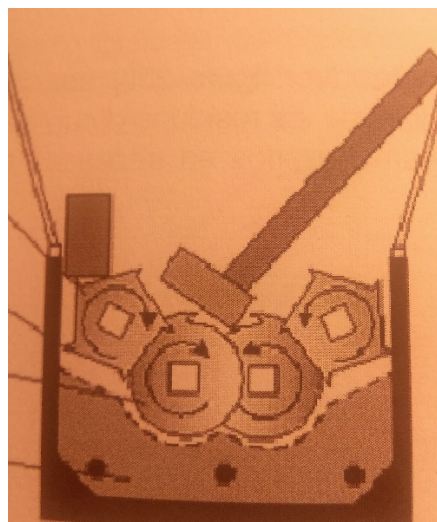


Figura I.29 Vista interior d'una trituradora tallant.

Font: Segura Cobos, J. C. "Maquinaria para gestión integral de residuos sólidos urbanos, Fundamentos y Aplicaciones", Bellisco Ediciones.

- **Sistema de pelletització:** La pelletització és bàsicament la densificació/compactació dels residus. Aquest és l'últim pretractament que cal aplicar al residu que després d'aquesta etapa ja ix reconvertit en CDR. El material per a processar s'introdueix per la part superior de la pelletitzadora i cau a una cambra redona on una premsa en forma de cilindre que gira extrudeix pels orificis d'aquesta els residus ja comprimits en forma de pellet. Aquest sistema és ideal per a la producció de CDR ja que les densitats a les que es poden arribar són molt altes (fins a 1,2 t/m³) facilitant el transport i reduint el espai necessari que ocupen al forn, i a més, també es redueix la humitat fins a un valor mínim, el que evita que el PCI es veja perjudicat.

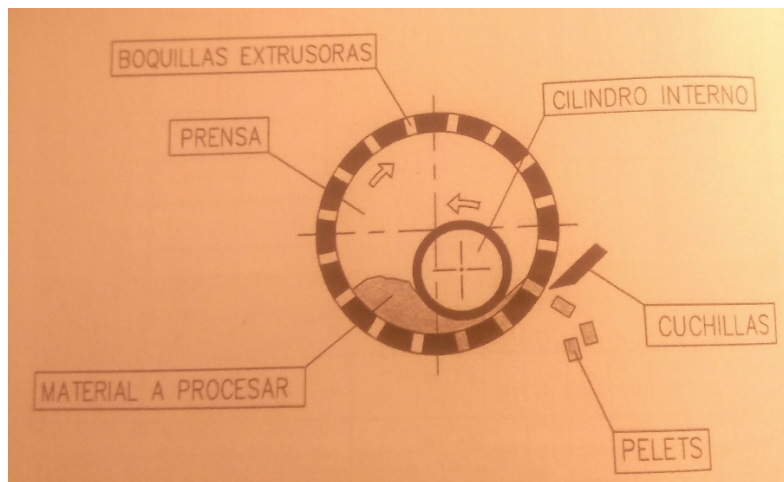


Figura I.30 Esquema bàsic de funcionament d'una pelletitzadora.

Font: Segura Cobos, J. C. "Maquinaria para gestión integral de residuos sólidos urbanos, Fundamentos y Aplicaciones", Bellisco Ediciones.

5.2 Capacitat, nombre i disposició de les màquines necessàries

Una vegada definits els equips necessaris s'ha de determinar el nombre de màquines que faran falta de cada tipus, cosa que es pot aproximar mitjançant el cabal de demanda per dia de CDR (es pot obtenir a partir del cabal mensual de la taula I.32, admetent que tots els mesos tenen 30 dies per simplificar els càlculs i suposant que el forn de la cimentera funciona ininterrompudament) i els cabals que la maquinària accepta, és a dir, caldrà mirar en diversos catàlegs les màquines seleccionades i quins cabals d'entrada poden convertir per dia.

Però no només cal fixar-se en el cabal d'entrada de la maquinària, també s'ha de saber les hores que aquesta funciona, ja que a diferència de la planta de clínquer que es continua, a la planta de triatge i compostatge objecte d'aquest estudi existeixen dos torns de 8 hores; per tant, la demanda d'un dia de CDR haurà de ser acomplerta en 16 hores. Els resultats de la taula I.34 ens ajudaran a poder determinar un pressupost aproximat del projecte.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| | | |
|---|--------|-----------|
| Tones de CDR requerides diàries | 405.87 | Tona*dia |
| Tones per hora a produir en la planta (16 hores) | 25.36 | Tona*hora |
| Nombre de Trituradores (25000-50000 kg/h) | 1 | Unitats |
| Nombre de S. òptics (25000-40000 kg/h) | 1 | Unitats |
| Nombre de Sistemes de Pelletització(2500-3000 kg/h) | 10 | Unitats |

Taula I.34 Estimació del nombre de màquines a partir de la seua capacitat.

Font: UNTHA.com; MOGENSEN.de; MEELKO.com.

Com es pot veure, per a dur a terme la producció de CDR requerida per la cimentera fan falta una trituradora, un separador òptic i deu sistemes de pelletització. Aquest nombre pot variar depenent de la capacitat de les màquines que finalment s'adquirisquen, ja que amb un maquinària d'una capacitat major faran falta menys màquines i viceversa.

Una vegada estimats el nombre de màquines queda conèixer la línia del procés de fabricació del CDR, el qual es durà a terme en una sola línia unint tots els rebutjos i que queda esquemàticament representat en la figura I.31.

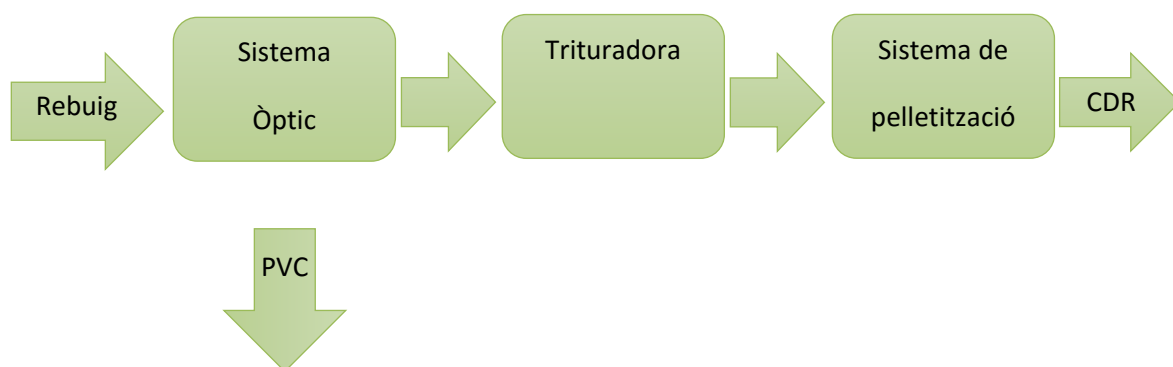


Figura I.31 Línia de procés de fabricació de CDR.

Finalment quedarà saber el mode de distribució dels pellets fins a la cimentera. Al tractar-se de quantitats importants de producció s'ha preferit no fer ús de ningú tipus d'ensacadora de pellet i distribuir el producte directament a granel, amb la qual cosa hi haurà un estalvi en maquinària.

6.Conclusions

Una vegada completat el procés de l'estudi de la planta de triatge i compostatge i havent desenvolupat la solució preliminar de la transformació del residu de la planta en CDR i la seua possible utilització com a possible substitutiu dels combustibles tradicionals en una planta cimentera, s'exposen les principals conclusions extretes:

- De tots els RU urbans que es generen a l'actualitat i que arriben a una planta de triatge i compostatge, un 60% són actualment destinats a l'abocament controlat, incomplint així amb els objectius que marca la UE per a un desenvolupament sostenible.
- Davant d'aquesta problemàtica cal buscar solucions tant de reducció i millora dels sistemes de gestió actual (*a priori*) com d'alternatives a l'abocament tradicional (*a posteriori*).
- Dins d'aquestes alternatives, la proposada en aquest treball s'orienta cap a la utilització dels residus com a CDR en la indústria del ciment, és a dir, la incineració. Els CDR entre d'altres avantatges, redueixen les emissions d'efecte hivernacle i eviten l'ús de combustibles convencionals com el carbó.
- Una vegada seleccionada la solució preliminar s'han estudiat els paràmetres físics i químics (PCI, humitat, densitat, granulometria...) del CDR i les emissions a l'atmosfera que produiran a la cimentera, ja que el CDR està compostat d'algunes fraccions que poden provocar emissions nocives que s'han de controlar.
- Amb l'estudi de les emissions s'han pogut determinar els equips de depuració de gasos necessaris així com els seus rendiments per poder complir amb els màxims d'emissions que queden recollits a l'Autorització Ambiental integrada (AAI) de la planta cimentera.
- També ha sigut necessari fer un estudi per conèixer altres factors que poden influenciar el procés de fabricació de CDR com l'estacionalitat d'aquests i ha resultat interessant també; estimar un màxim teòric de substitució del combustible convencional per CDR.
- Estudiats tots aquests aspectes i complint cadascun dels requisits necessaris, només resta determinar i pressupostar la maquinària que s'haurà d'adquirir en la planta de triatge i compostatge per a la correcta preparació i utilització del CDR en la cimentera de destinació.

7. Referències bibliogràfiques

- [1] Donato Spataro, *Manual de saneamiento de poblaciones*. Madrid, Adrián Romo Editor, 1906, p. 565-571.
- [2] Josefina Gómez Mendoza, "Las ciudades españolas a finales del siglo XIX: La visión de los técnicos" *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, vol. XLIII, núms. 169-170, (2011), pp. 1-15.
- [3] Vittorio Marchis, "Dall'ingegneria come pratica all'ingegneria come scienza", a V. Cardone i F. P. La Mantia (eds.), *La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia*, Cooperativa Editrice Universitaria Salernitana, 2007, p. 80.
- [4] Nicholas Georgescu-Roegen, *La Ley de la Entropía y el proceso económico*. Madrid, Fundación Argentaria, 1996 (1971).
- [5] Catalina Hermida Balboa y Manuel Domínguez Somonte, "Economía circular como marco para el eco diseño: el modelo ECO-3", *Informador técnico*, Madrid, McGraw-Hill, 2005.
- [6] John T. Lyle Center for Regenerative Studies: <https://env.cpp.edu/rs/rs>
- [7] Catalina Hermida Balboa y Manuel Domínguez Somonte, "Economía circular ...", p. 83.
- [8] Walter R. Stahel, "Product life as a variable: the notion of utilization", *Science and Public Policy*, 13-4 (1986), p. 186.
- [9] Ellen Macarthur Foundation, *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*, pp. 2 y 7. Recuperat de: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf
- [10] Daniel Hoornweg i Perinaz Bhada-Tata, *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series; knowledge papers núm. 152012. World Bank, Washington, DC. URI: <http://hdl.handle.net/10986/17388>*
- [11] http://Eq.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/es
- [12] *Ibidem*
- [13] "Diagnóstico del Sector Residuos en España", *Análisis y Prospectiva - serie Medio Ambiente*, núm. 7, abril 2014. Recuperat de: http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/AyP_RESIDUOS_V10_tcm7-323997.pdf
- [14] Alexandra Maria Almasi i Leonidas Milios, "Municipal waste management in Spain", ETC/SCP, febrer de 2013. <http://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>
- [15] <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- [16] <http://www.un.org/es/millenniumgoals/>
- [17] <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

- [18] Comunicat del PNUD: “Garantizar el éxito de los ODS es la máxima prioridad del PNUD”, <http://www.undp.org/content/undp/es/home/presscenter/pressreleases/2016/06/08/ensuring-success-of-sdgs-a-top-priority-for-undp.html>
- [19] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571>
- [20] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>
- [21] http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_es.html
- [22] Les matèries primeres secundàries són aquelles que provenen del reciclatge de les matèries primeres pròpiament dites.
- [23] *Managing municipal solid waste. A review of achievements in 32 European countries. EEA Report, núm. 2/2013, p. 13. Recuperat de: <http://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>. Així mateix: Sergio C. Fanjul, “La alternativa al usar y tirar”, al *Extra IFEMA. Las nuevas ciudades. Vivir en verde, El País*, 18/06/2016, p. 7.*
- [24] <https://www.boe.es/boe/dias/2009/02/26/pdfs/BOE-A-2009-3243.pdf>
- [25] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Planes-y-Programas.aspx#para0>
- [26] <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/Planes-y-Programas.aspx#para2>
- [27] *DOCV*, núm. 3898, de 15 /12/2000.
http://www.docv.gva.es/datos/2000/12/15/pdf/2000_10177.pdf
- [28] <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/plan-integral-de-residuos-de-la-comunitat-valenciana-pircv->
- [29] <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/memoria-de-justificacion> (vegeu apèndix).
- [30] José Sierra, “Residuos Sólidos. La deficiente gestión obliga a transportar cada días 1.200 t de basuras”, *Levante-EMV*, 19/06/2016, pp.2-3 (vegeu apèndix).
- [31] <http://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/reciclaje-en-datos/barometro>
- [32] Llei 28/2011, de 28 de juliol, de Residus i sols contaminats.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-13046>
- [33] J.A. Mendoza Roca, M.T. Montañés Sanjuán y A.E. Palomares Gimeno (1998): “Ciencia y tecnología del medio ambiente”. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, SPUPV-983.513.
- [34] *DOCV*, núm. 5449, de 13/02/2007:
http://www.docv.gva.es/datos/2007/02/13/pdf/2007_1438.pdf
- [35] MTD documents BREF
http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/prevencio_i_control_dactivitats/mtd/docs_bref_sobre_les_mtd/estat_delaboracio_i_conclusio_ns_mtd/doc/mtd_ciment_cal.pdf

DOCUMENT II

PRESSUPOST

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

1. Pressupost d'implantació.

Amb tota la informació recollida al treball ja es pot elaborar l'anomenat pressupost d'implantació, és a dir, el que costarà en termes globals realitzar aquesta modificació en la infraestructura de la planta de triatge i compostatge. El pressupost final s'haurà d'analitzar com un projecte a llarg termini ja que actualment el CDR és un combustible barat i segurament la producció haurà de ser abundant i continuada durant un període de temps considerable per rendibilitzar la inversió inicial.

Els costos d'implantació al seu torn es divideixen en tres capítols, els quals s'analitzaran detalladament a continuació:

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

1.1 Costos d'enginyeria

Els costos d'enginyeria quantifiquen les hores dels professionals que han treballat en l'elaboració del projecte i els desplaçaments i dietes que s'hagen produït a la planta de triatge en qüestió per avaluar la situació o prendre mostres.

Els costos totals es calculen multiplicant les hores treballades pels honoraris per hora que s'han dedicat i a més sumant els desplaçaments i dietes i multiplicant-los per 70 euros cadascun. El pressupost d'enginyeria es mostra en les taules II.1; II.2 i II.3.

| Empleat | Hores | Honoraris(€/h) | Cost(€) |
|--------------------|-------|----------------|---------|
| Gerent | 30 | 50 | 1.500 |
| Enginyer 1 | 80 | 40 | 3.200 |
| Enginyer 2 | 60 | 30 | 1.800 |
| Ajudant tècnic | 100 | 20 | 2.000 |
| Personal d'oficina | 100 | 20 | 2.000 |
| TOTAL | | | 10.500 |

Taula II.1 Costos d'empleats.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Els costos dels empleats de la enginyeria ascendeixen a un total de deu mil cinc-cents euros.

| Concepte | Nombre | Cost unitari(€) | Cost(€) |
|------------------------|--------|-----------------|---------|
| Desplaçaments i dietes | 15 | 70 | 1.050 |
| TOTAL | | | 1.050 |

Taula II.2 Resum de dietes i desplaçaments.

Els costos de les dietes i desplaçaments dels empleats de la enginyeria ascendeixen a un total de mil cinquanta euros.

| Concepte | Cost(€) |
|----------------------------------|---------|
| Costos dels empleats | 10.500 |
| Costos de desplaçaments i dietes | 1.050 |
| TOTAL | 11.550 |

Taula II.3 Costos d'enginyeria.

Els costos del capítol d'enginyeria ascendeixen a un total d'onze mil cinc-cents cinquanta euros.

1.2 Costos materials

Els costos materials són sens dubte la part que requereix una inversió major per a la planta. L'adquisició de nova maquinària d'última tecnologia per al tractament dels residus és necessària per a poder dur avant el procés i poder oferir un producte de qualitat als clients potencials. En el pressupost següent s'ha contemplat que la planta de triatge i compostatge no disposa de la maquinària que caldria adquirir, però en el cas de que no fóra així (que la planta disposara de separadors òptics, trituradores o sistemes de pelletització lliures per a la seua reubicació en planta) es descomptarien del pressupost material les màquines corresponents. (En el pressupost material s'ha considerat que no és necessària la construcció d'una nova nau de tractament per poder dur a terme aquest projecte i també s'ha assumit que la planta ja disposa d'altres sistemes que no s'han inclòs al pressupost com sistemes de recepció, o la instal·lació elèctrica necessària).

En l'apartat 5.2 ja s'han estudiat les capacitats de les màquines i finalment s'ha estimat el nombre necessari d'aquestes per abastir un sol forn de clínquer. Com a recomanació es suggereix utilitzar màquines amb capacitats d'entrada majors que les necessitats del forn esmentat per poder tenir un excedent de producte que poder vendre a altres clients o utilitzar en les altres línies dels forns del mateix client principal. El pressupost material queda recollit a la taula II.4.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| Màquina | Unitats | Preu unitari(€) | Cost(€) |
|---------------------------------|---------|-----------------|----------------|
| Trituradora UNTHA XR2000R | 1 | 130.000 | 130.000 |
| Sistema òptic MOGENSEN MSORT AP | 1 | 55.000 | 55.000 |
| Sistema de pelletització MEELKO | 15* | 13.000 | 195.000 |
| TOTAL | | | 380.000 |

*Es recomana l'adquisició de més sistemes de pelletització dels necessaris per al forn per tindre una producció de pellets d'acord a les característiques productives de les altres màquines. Si finalment s'opta per la compra de maquinària amb capacitats més reduïdes, amb 10 equips seria suficient.

Taula II.4 Costos materials.

Els costos materials ascendeixen a un total de tres-cents vuitanta mil euros.

1.3 Costos de formació

Els costos de formació com el seu nom indica es corresponen a la inversió que l'empresa en qüestió ha de realitzar per donar a conèixer el nou sistema de gestió de residu i instruir als empleats que estiguin destinats a aquest sector en el control i supervisió de la nova maquinària i en les condicions de tractament i entrega dels pellets. Aquest procés el realitza un empresa externa tant a la enginyeria com a la pròpia planta de triatge i s'han d'organitzar cursos intensius i sessions de formació per poder enllestir el procés el més aviat possible.

| Sessions formatives | Hores per sessió | Honoraris(€/sessió) | Cost(€) |
|---------------------|------------------|---------------------|--------------|
| 5 | 4 | 300 | 1.500 |
| TOTAL | | | 1.500 |

Taula II.5 Costos de sessions formatives.

Els costos de les sessions formatives ascendeixen a un total de mil cinc-cents euros.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| Cursos intensius | Hores per curs | Honoraris(€/curs) | Cost(€) |
|------------------|----------------|-------------------|---------|
| 1 | 20 | 2.000 | 2.000 |
| TOTAL | | | 2.000 |

Taula II.6 Costos de cursos intensius.

Els costos dels cursos intensius ascendeixen a un total de dos mil euros.

| Concepte | Cost(€) |
|---------------------|---------|
| Sessions formatives | 1.500 |
| Cursos intensius | 2.000 |
| TOTAL | 3.500 |

Taula II.7 Costos de formació.

Els costos del capítol de formació ascendeixen a un total de tres mil cinc-cents euros.

1.4 Pressupost d'implantació total

Finalment el cost d'implantació total del projecte es calcularà com la suma de cadascun dels capítols que el formen i que es recull a la taula II.8.

| Concepte | Cost(€) |
|---------------------|---------|
| Costos d'enginyeria | 11.500 |
| Costos materials | 380.000 |
| Costos de formació | 3.500 |
| TOTAL | 395.000 |

Taula II.8 Pressupost d'implantació total.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

El cost d'implantació total del projecte ascendeix a un total de tres-cents noranta cinc mil euros.

2.Pressupost total.

Finalment, al cost d'implantació cal afegir-li els costos generals i l'IVA quedant ja el pressupost final que se li presentarà a l'empresa corresponent.

| Concepte | Cost(€) |
|-----------------------|------------------|
| Cost d'implantació | 395.000 |
| Costos generals (13%) | 51.350 |
| IVA (21%) | 93.733,5 |
| TOTAL | 540.083,5 |

Taula II.9 Pressupost total

El pressupost final per a dur a terme el projecte ascendeix a un total de cinc-cents quaranta mil vuitanta tres euros i cinquanta cèntims.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

DOCUMENT III

APÈNDIX: INFORMACIÓ ADICIONAL DEL PIRCV

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

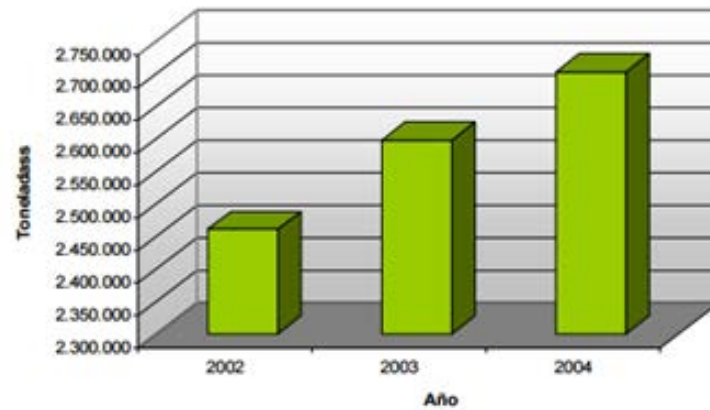


Figura III.1 Evolució de la generació de RU (2002,2003,2004).

| 1. | ESTIMACIÓN DE LA TENDENCIA EN LA GENERACIÓN DE RU (TONELADAS) | | | | | |
|----------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Provincia | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| ALICANTE | 1.208.171 | 1.248.777 | 1.290.748 | 1.334.130 | 1.378.970 | 1.425.317 |
| CASTELLÓN | 414.022 | 427.104 | 440.600 | 454.522 | 468.883 | 483.699 |
| VALENCIA | 1.331.760 | 1.358.728 | 1.386.242 | 1.414.313 | 1.442.953 | 1.472.173 |
| COMUNITAT VALENCIANA | 2.953.953 | 3.034.609 | 3.117.590 | 3.202.965 | 3.290.806 | 3.381.188 |

Taula III.1 Estimació de la generació de residus per al període 2008-2013.

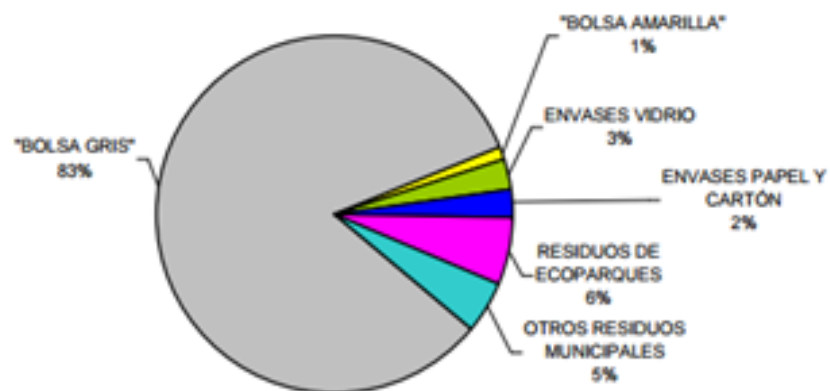


Figura III.2 Distribució dels components dels RU segons la seua recollida.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

| Província | RECOGIDA | VALORIZACIÓN | ELIMINACIÓN |
|-----------|---|-------------------------|--|
| | Estaciones de transferencia | Plantas de valorización | Vertederos |
| Alicante | 1 (Alcoi) 1 (Calpe) 1 (Denia) 1 (Benidorm) | 1 (Villena) | 1 (Villena) 1 (Xixona) 1 (Alicante) 1 (Aspe) 1 (Elche) |
| | | 1 (Xixona) | |
| | | 1 (Alicante) | |
| | | 1 (Elche) | |
| | | 1 (Crevillente) | |
| Castellón | 1 (Almassora) 1 (Segorbe) | 1 (Onda) | 1 (Villafranca del Cid) 1 (Tales) 1 (Onda) |
| | | | |
| Valencia | 1 (Sagunto) 1 (El Palomar) 1 (Oliva) | 1 (Quart de Poblet) | 1 (Dos Aguas) 1 (Ademuz) 1 (Alpuente) |
| | | 1 (Guadassuar) | |
| | | | |

Taula III.2 Instal·lacions de gestió de RU existents en la Comunitat Valenciana.

| Província | Plantas de valorización | Capacidad (t/año) |
|--------------|-------------------------|-------------------|
| Alicante | ALICANTE | 821.000 |
| | CREVILLENT | |
| | ELX | |
| | VILLENA | |
| | XIXONA | |
| Castellón | ONDA | 200.000 |
| Valencia | GUADASSUAR | 600.000 |
| | QUART DE POBLET | |
| Total | 8 | 1.621.000 |

Taula III.3 Capacitats de les plantes de valorització de RU (31-12-2007).

| Província | Vertederos | CAPACIDAD RESTANTE A 31 DE DICIEMBRE DE 2007 (m³) |
|--------------|---------------------|---|
| Alicante | ALICANTE | 1.245.193 |
| | ASPE | |
| | ELX | |
| | VILLENA | |
| | XIXONA | |
| Castellón | VILLAFRANCA DEL CID | 392.815 |
| | ONDA | |
| Valencia | ADEMUZ | 448.764 |
| | ALPUENTE | |
| | DOS AGUAS | |
| | PEDRALBA | |
| Total | 11 | 2.086.772 |

Taula III.4 Capacitat restant dels abocadors autoritzats de la Comunitat Valenciana.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada

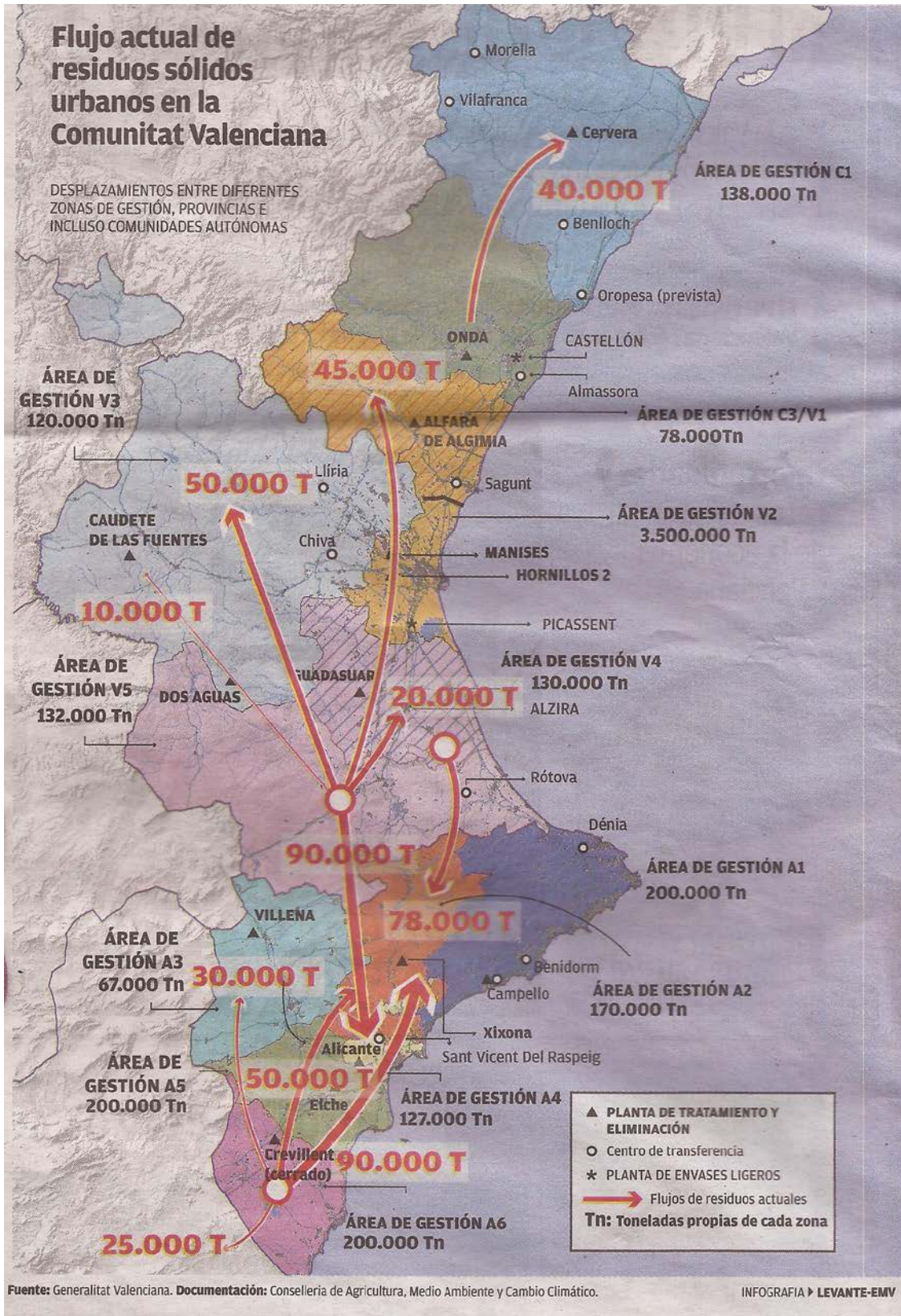


Figura III.3 Flux actual de RU en la Comunitat Valenciana.

Anàlisi d'alternatives per a reduir el rebuig destinat a abocador d'una planta de triatge i compostatge. Disseny preliminar de la millora proposada