

**PLA TERRITORIAL SECTORIAL
D'INFRAESTRUCTURES DE GESTIÓ DE
RESIDUS MUNICIPALS DE CATALUNYA**

ANNEX 3 PART B – ESTUDI DE TECNOLOGIES



1. TRACTAMENTS TÈRMICS.....	4
1.1. Tecnologies d'incineració.....	5
1.1.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.....	6
1.1.2. Referències.....	10
1.2. Tractament de piròlisi.....	12
1.2.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.....	14
1.2.2. SIEMENS.....	15
1.2.3. MITSUI BABCOCK.....	18
1.2.4. THIDE ENVIRONMENT.....	21
1.2.5. VON ROLL.....	24
1.2.6. WASTEGEN.....	26
1.3. Tecnologies de gasificació.....	28
1.3.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.....	29
1.3.2. COMPACT POWER.....	32
1.3.3. EBARA.....	34
1.3.4. ENERGOS.....	36
1.3.5. ENERKEM / NOVERA.....	38
1.3.6. NIPPON STEEL.....	40
1.3.7. SVZ.....	43
1.3.8. THERMOSELECT.....	46
1.3.9. TPS TERMISKA.....	50
1.4. Tecnologies de gasificació per plasma.....	52
1.4.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.....	53
1.4.2. HITACHI METALS.....	55
1.4.3. PLASCO / HERA.....	56
2. MILLORS TÈCNiques DISPONIBLES (MDTD'S): REFERENCE DOCUMENT ON BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR THE WASTE INCINERATION.....	60
3. RESUM - CONCLUSIONS.....	69

ÍNDEx DE TAULES

Taula 1. Aplicació de les diferents tecnologies de tractament tèrmic.....	4
Taula 2. Referències de Martin GmbH en plantes d'incineració a Espanya.....	11
Taula 3. Referències de Martin GMBH en plantes d'incineració en el món (selecció).....	12
Taula 4. Referències de Von Roll Inova de plantes d'incineració a Espanya.....	12
Taula 5. Referències de Von Roll Inova de plantes d'incineració en el món (selecció).....	12
Taula 6: Balanç de masses del procés de piròlisi de Siemens.....	18
Taula 7: Referències de plantes de piròlisi de Siemens.....	18
Taula 8: Balanç de matèria de Mitsui Babcock per al procés R-21.....	21
Taula 9: Balanç d'energia de Mitsui Babcock per al procés R-21.....	21
Taula 10: Referències de plantes de piròlisi de Mitsui Babcock.....	21
Taula 11: Balanç de matèria del procés Thide environment.....	24
Taula 12: Referències de plantes de Thide Environment.....	24
Taula 13: Balanç de matèria del procés RCP de Von Roll.....	26
Taula 14: Balanç d'energia del procés RCP de Von Roll.....	26
Taula 15: Referències de Von Roll en plantes de piròlisi.....	26

Taula 16: Balanç de masses per al procés de Wastegen.....	28
Taula 17: Referències de plantes de piròlisi de Wastegen.....	28
Taula 18: Balanç de matèria simplificat per al procés Compact Power.....	34
Taula 19: Referències de plantes de gasificació de Compact Power.....	34
Taula 20: Balanç de matèria per al "Twin Internally revolving Fluidized bed Gasifier" d'Ebara.....	36
Taula 21: Referències de plantes per al procés "Twin Internally revolving Fluidized bed Gasifier", Ebara.....	36
Taula 22: Referències de plantes per al procés de gasificació d'Energos.....	38
Taula 23: Referències de plantes del procés de gasificació d'Energos.....	40
Taula 24: Balanç de matèria simplificat per al procés Nippon Steel.....	42
Taula 25: Referències de plantes piròlisi-gasificació de Nippon Steel.....	43
Taula 26: Dades bàsiques del procés de gasificació per a la planta de Schwarze Pumpe.....	46
Taula 27: Referències de plantes de gasificació de SVZ.....	46
Taula 28: Balanç de matèria simplificat per al procés Thermoselect.....	50
Taula 29: Referències de plantes per al procés de gasificació de Thermoselect.....	50
Taula 30: Balanç de matèria per a la planta de Grève in Chianti.....	52
Taula 31: Referències de plantes de gasificació per a TPS Termiska.....	52
Taula 32: Composició típica d'ASR.....	56
Taula 33: Referències de plantes de gasificació per plasma d'Hitachi Metals.....	56
Taula 34: Referències de plantes de gasificació de plasma de PLASCO/HERA.....	59

ÍNDEx DE FIGURES

Figura 1. Graderies transversals de moviment simple.....	7
Figura 2. a) Graderies transversals de moviment doble. b) Vista detallada de les graderies.....	8
Figura 3. Forn de rodets.....	8
Figura 4. Detall de les posicions de les graderies durant el moviment solidari.....	8
Figura 5: Forn rotatiu d'incineració.....	9
Figura 6: Forn de llit fluiditzat bombollejant.....	10
Figura 7: Forn de llit fluiditzat circulant.....	10
Figura 8: Forn de llit fluiditzat "Revolving Type".....	10
Figura 9: a) Planta pilot de Ulm (Alemanya); b) Planta en construcció de Fürth (Alemanya).....	15
Figura 10: Diagrama de procés del procés Siemens.....	16
Figura 11: Forn de piròlisi (planta pilot).....	16
Figura 12: Sistema de depuració (planta pilot).....	17
Figura 13: Planta Ebetsu, Japó.....	19
Figura 14: Diagrama de procés de piròlisi de Mitsui Babcock.....	19
Figura 15: Forn de piròlisi.....	20
Figura 16: Combustió a alta temperatura.....	20
Figura 17: Planta de Thide Environment (Arras, França).....	21
Figura 18: Diagrama de procés de Thide Environment.....	22
Figura 19: Forn rotatiu de piròlisi.....	23
Figura 20: Planta de piròlisi de Bremerhaven, Alemanya.....	24
Figura 21: Diagrama de procés de Von Roll per a piròlisi.....	24
Figura 22: Planta de procés de Burgau, Alemanya.....	26
Figura 23: Diagrama de procés.....	27
Figura 24: Gasificador <i>downdraft</i>	30
Figura 25: Gasificador <i>updraft</i>	31
Figura 26: Gasificador de graella.....	31
Figura 27: Gasificador de llit fluiditzat bombollejant.....	31
Figura 28: Gasificador de llit fluiditzat circulant.....	32
Figura 29: Planta de Avonmouth, Anglaterra.....	32
Figura 30: Esquema de procés de Compact Power.....	33
Figura 31: Planta de Fujisawa, Japó.....	34
Figura 32: Diagrama de procés de gasificació d'Ebara.....	35
Figura 33: Gasificador del procés TwinRec d'Ebara.....	35
Figura 34: Planta de Forus, Noruega.....	36
Figura 35: Esquema de procés de tractament tèrmic d'Energos.....	37
Figura 36: Planta de gasificació de plàstics de Ribesalbes, Espanya.....	38
Figura 37: Diagrama de procés de gasificació d'Energos.....	39
Figura 38: Planta d'Akita, Japó.....	40
Figura 39: Diagrama de procés de tractament tèrmic de Nippon Steel.....	41
Figura 40: Secció del forn de llit fix de Nippon Steel.....	41

Figura 41: Zona de tractament tèrmic, planta d'Akita (Japó)	41
Figura 42: Vista del complex industrial de Schwarze Pumpe, Alemanya	43
Figura 43: Diagrama de procés de Schwarze Pumpe.....	44
Figura 44: Gasificador British-Gas-Lurgi.....	45
Figura 45: Planta de Karlsruhe, Alemanya.....	47
Figura 46: Diagrama de procés de Thermoselect.....	47
Figura 47: Gasificador de Thermoselect.....	48
Figura 48: Ampliació de la zona de fusió de materials inorgànics de Thermoselect.....	48
Figura 49: Ampliació de la zona de gasificació i del quench de Thermoselect.....	49
Figura 50: Esquema de les etapes de depuració del gas de síntesi de Thermoselect	49
Figura 51: Planta de Grève-in-Chianti.....	50
Figura 52: Diagrama de procés de TPS.....	51
Figura 53: Esquema de generació de plasma.....	53
Figura 54: Esquema del sistema de plasma d'arc transferit i d'arc no transferit.....	54
Figura 55: Planta de Utashinai, Japó.....	55
Figura 56: Diagrama de procés de plasma tèrmic d'Hitachi Metals Ltd.....	55
Figura 57: Planta de demostració de plasma de Castellgalí (Espanya).....	57
Figura 58: Diagrama de blocs del procés de plasma de PLASCO/HERA	57
Figura 59: Arc de plasma en operació.....	58
Figura 60: Extracció d'escòries foses del reactor de gasificació.....	58

1. TRACTAMENTS TÈRMICS.

Actualment, existeixen diversos tipus de tecnologies de tractament tèrmic: incineració, gasificació, piròlisi o gasificació per plasma, encara que cadascuna d'elles s'han desenvolupat a diferent nivell.

De les tecnologies esmentades anteriorment, solament la incineració està àmpliament desenvolupada i provada en tots els aspectes. No obstant, existeix una tendència de creixement en la implantació d'instal·lacions de gasificació, piròlisi o gasificació per plasma, deguda bàsicament a una baixa acceptació a nivell social de la incineració, i a la voluntat i expectativa d'aconseguir una recuperació energètica més eficient.

Històricament, els processos de gasificació i piròlisi de carbó eren ben coneguts i aplicats. La piròlisi de carbó produïa coc i gas carbó, mentre que el seu tractament per gasificació en una corrent d'aire i vapor, produïa un combustible gasós denominat gas de síntesi. No obstant, ha sigut recentment, quan s'han desenvolupat els processos de gasificació i piròlisi per a poder aplicar-les al tractament de RM.

Així mateix, la tecnologia de plasma ha sigut desenvolupada per a la vitrificació de residus peril·losos, obtenint uns bons resultats. No obstant, per al cas de RM es disposa encara de menys experiència que en els dos processos anteriors.

A la taula següent es presenta un resum amb l'estat d'aplicació de les distintes tecnologies, aplicades al tractament de RM.

Tècniques de tractament tèrmic		RM sense tractar	RM i CDR pretractat
Incineració	Graella de moviment alternatiu	Àmpliament utilitzada	Àmpliament utilitzada
	<i>Travelling grates</i>	Aplicable	Aplicable
	Graella oscil·lant	Aplicable	Aplicable
	Graella de rodets	Aplicable	Àmpliament utilitzada
	Graella refrigerada per aigua	Aplicable	Aplicable
	Graella més forn rotatiu	Aplicable	No s'aplica habitualment
	Forn rotatiu	Aplicable	Aplicable

Tècniques de tractament tèrmic		RM sense tractar	RM i CDR pretractat
	Forn rotatiu refrigerat per aigua	No s'aplica habitualment	Aplicable
	Forn de llit fix	No s'aplica habitualment	No s'aplica habitualment
	Forn estàtic	No s'aplica habitualment	No s'aplica habitualment
	Llit fluïditzat bombollejant	No s'aplica habitualment	Aplicable
	Llit fluïditzat circulant	Aplicat molt limitadament	Aplicable
	Llit fluïditzat " <i>Revolving Type</i> "	Aplicable	Aplicable
Piròlisi		Aplicat molt limitadament	Aplicat molt limitadament
Gasificació		Aplicat molt limitadament	Aplicat molt limitadament

Font: Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Technique for Waste Incineration, 2006. CE.

Taula 1. Aplicació de les diferents tecnologies de tractament tèrmic.

La nova Directiva marc sobre els residus¹, aprovada pel Parlament Europeu el 17 de juny de 2008, modifica les definicions de valorització i eliminació de la Directiva 2006/12/CEE per tal d'assegurar una distinció més clara entre ambdós conceptes i clarificar quan es pot considerar la incineració de RM com a valorització² en funció de la seva eficiència energètica. Les instal·lacions d'incineració destinades al tractament de residus sòlids urbans estan incloses com a operació de valorització segons el grup R1. "Utilització principal com a combustible o altre mode de produir energia" a l'Annex II³ de la nova Directiva sempre i quan la seva eficiència energètica resulti igual o superior a:

¹ Resolución legislativa del Parlamento Europeo, de 17 de junio de 2008, respecto de la Posición Común del Consejo con vistas a la adopción de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

² D'acord amb l'article 3 de la Directiva, es defineix "valorització" com a qualsevol operació que com a resultat principal sigui que el residu serveixi a una finalitat útil al substituir a altres materials que d'altre manera s'haurien utilitzat per a complir una funció particular, o que el residu sigui preparat per a complir aquesta funció, a la instal·lació o a la economia en general. A l'annex II [de la Directiva] es recull una llista no exhaustiva de les operacions de valorització.

Per altre part, es destaca que d'acord amb l'article 23 (Expedició d'autoritzacions) que "...qualsevol autorització per a incineració o coïncineració amb valorització energètica tindrà com a condició que aquesta valorització d'energia es produeixi amb un elevat nivell d'eficiència energètica.

³ Al grup R3."Reciclatge o recuperació de substàncies orgàniques que no s'utilitzen com a disolvents (incloent el compostatge i altres processos de transformació biològica) s'inclou la gasificació i la piròlisi que utilitzen els components com a elements químics.

· 0,60 tractant-se de instal·lacions en funcionament i autoritzades conforme a la legislació comunitària aplicable des de abans del 1 de gener de 2009;

· 0,65 tractant-se de instal·lacions autoritzades després del 31 de desembre de 2008, aplicant la següent fórmula:

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

on:

E_p és la energia anual produïda com calor o electricitat, que es calcula multiplicant la energia en forma d'electricitat per 2,6 i el calor produït per a usos comercials per 1,1 (GJ/any).

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

E_w és la energia anual continguda als residus tractats, calculada utilitzant el poder calorífic net inferior dels residus (GJ/any).

E_i és la energia anual importada excloent E_w i E_f (GJ/any).

0,97 és un factor que representa les pèrdues d'energia degudes a les cendres de fons i la radiació.

Aquesta fórmula⁴ s'aplicarà de conformitat amb el document de referència sobre les millors tècniques disponibles per a la incineració de residus.

⁴ A l'article 38 (Interpretació i adaptació als avanços tècnics) de la nova Directiva marc de residus s'indica que:

1. La Comissió podrà elaborar directrius per a la interpretació de les definicions de valorització i eliminació.

En cas necessari, s'especificarà la aplicació de la fórmula relativa a instal·lacions de incineració indicada al annex II, R 1. Podran considerar-se les condicions climàtiques locals, tals com la intensitat del fred i la necessitat de calefacció en la mesura en que afectin sobre les quantitats de energia que es puguin utilitzar o produir tècnicament en forma d'electricitat, calefacció, refrigeració o vapor. També podran tenir-se en consideració les condicions locals de les regions ultraperifèriques reconegudes al article 299, apartat 2, paràgraf quart, del Tractat i dels territoris esmentats al article 25 del Acta d'adhesió de 1985. [...].

2. Els annexos podran modificar-se a la llum dels avanços tècnics i científics. Aquestes mesures, concebudes per a modificar elements no essencials de la Directiva per a complementar-la, s'adoptaran d'acord al procediment de reglamentació amb control al que es fa referència al article 39, apartat 2.

1.1. Tecnologies d'incineració.

A la incineració té lloc la combustió, reacció química que es basa en una oxidació tèrmica total en excés d'oxigen.

Les característiques generals de la incineració de residus, són les següents:

- Es requereix un excés d'oxigen respecte al estequiomètric durant la combustió per a assegurar una completa oxidació.
- La temperatura de combustió està típicament compresa entre els 900°C i 1200°C.
- Com a resultat del procés d'incineració s'obté:
 - Gasos de combustió, compostat principalment per CO_2 , H_2O , O_2 no reaccionat, N_2 d'aire emprat per a la combustió i altres compostos en menors proporcions procedents dels diferents elements que formaven part dels residus. Els components minoritaris presents dependran de la composició dels residus tractats. Així doncs, poden contenir gasos àcids derivats de reaccions d'halògens, sofre, metalls volàtils o compostos orgànics que no s'hagin oxidat. Finalment, els gasos de combustió contindran partícules, que són arrossegades pels gasos.
 - Residu sòlid, compostat fonamentalment per escòries inerts, cendres i residus del sistema de depuració dels gasos de combustió.

El procés global converteix pràcticament tota la energia química continguda en el combustible en energia tèrmica, deixant una part d'energia química sense convertir en gas de combustió i una molt petita part d'energia química no convertida en les cendres.

Així doncs, l'aprofitament de la calor es realitza mitjançant la generació de vapor d'aigua reescalfada, amb rendiments tèrmics de l'ordre del 80%, degut a les pèrdues calorífiques tant al forn com a la caldera i per la temperatura mínima de sortida dels gasos de combustió de la caldera de recuperació.

L'ús posterior del vapor, per a l'obtenció d'energia mecànica i elèctrica, té limitacions en el rendiment per raons termodinàmiques als cicles tèrmics, en els que intervé el vapor, el que suposa una pèrdua molt important d'energia en el focus fred del cicle tèrmic.

1.1.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.

1.1.1.1. Pretractaments i característiques dels residus.

En general, la incineració es pot aplicar per a un marge ampli i heterogeni de residus, els quals han de complir, com a requisit principal, el posseir un poder calorífic tal, que permeti el manteniment de les reaccions de combustió.

No obstant això, el pretractament i les característiques dels residus admissibles, varien en funció del tipus de forn d'incineració.

– Forns de graella:

Els forns de graella són molts flexibles en operació en front a combustibles heterogenis, pel qual poden tractar RM, residus industrials, llots de depuradores o residus hospitalaris. En el cas concret de RM, la seva aplicació es tan àmplia i provada i el funcionament tant robust, que a Europa el 90% de les instal·lacions de tractament de RM, utilitzen forns de graella amb capacitats de tractament elevades (fins a 30 t/h).

Donat que el disseny de les graelles actuals i les característiques dels RM, la limitació de la grandària de partícula del residu ve donada, a efectes pràctics, per la grandària de la tremuja. Així doncs, com a únic pretractament aplicable, s'ha de senyalar la trituració.

D'aquesta forma s'aconsegueix una homogeneïtzació dels residus, obtenint una major consistència en la combustió d'aquests.

– Forns rotatius:

Als forns rotatius es pot incinerar pràcticament qualsevol residu, independentment del seu tipus o composició. Encara així, i donades les condicions de la combustió, la seva aplicació actual està dirigida al tractament de residus peril·losos (per exemple, residus clínics), sent el tractament de RM minoritari.

El pretractament aplicable consistiria en una trituració prèvia.

– Forns de llit fluïditzat:

Per a aquest tipus de forns, els RM han d'haver estat pretractats. En primer lloc, es realitza una selecció dels residus d'entrada, separant els metalls de baix punt de fusió i els

materials inerts. A continuació, han de ser triturats per a aconseguir una grandària de partícula màxima d'entre 200 i 300 mm de diàmetre.

El cost relatiu de pretractament requerit per a alguns residus, ha restringit la viabilitat econòmica d'aquests sistemes a projectes a gran escala.

1.1.1.1.1. Assecat de residus.

En ocasions, amb la finalitat d'obtenir un residu amb un menor contingut d'humitat i augmentar el seu poder calorífic fins valors més adequats per a la seva valorització energètica, es realitza un assecat, ja sigui mitjançant un fluid tèrmic (p.e. gasos de combustió d'una cogeneració) o mitjançant un assecat biològic aerobi⁵ o bioassecat.

En el cas de l'assecat amb un fluid tèrmic es poden utilitzar assecadors de tipus tambor rotatiu convectiu de gran grandària (25 m de longitud i 3,5 m de diàmetre per a una càrrega màxima de 25 t/h), generalment d'acer al carboni, amb un accionament de tipus corona-pinyó. Al seu interior, alguns equips disposen d'unes paletes que formen una densa cortina que afavoreix l'intercanvi tèrmic. Al llarg de l'avanç del residu, les pales van canviant de secció, de manera que, a l'entrada (a on el residu posseeix una humitat més elevada), les pales són radials i sense plecs, mentre que al final disposen de dos plecs, un a 45° i un altre a 90°, que tanquen la cortina al llarg de tota la secció del tambor. Aquest canvi es dona perquè no hi ha problemes de colmatació, degut a que el residu es troba al final del procés d'assecat.

Per altra banda, el tambor d'assecat disposa d'un dispositiu de corriolet i corretges per a modificar la velocitat, a efectes de poder correlacionar els següents valors de disseny: temps de residència-coeficient d'emplenat-procés d'assecat-producció.

L'assecat dels residus es realitza preferentment amb gasos de combustió a una temperatura d'entre 360 i 370°C que circulen a equicorrent amb els residus. En aquestes condicions s'aconsegueix un assecat inferior a un 20% d'humitat dels residus a la sortida, a una temperatura d'entre els 65 – 70°C.

Els gasos d'escapament de l'assecador s'introdueixen en una bateria de ciclons, on es reté el 90% dels sòlids que contenen per arrossegament i es recullen en tremuges. A continuació, els gasos es tracten a unes torres de rentat de tipus àcid-bàsic amb separador de gotes, on s'eliminen els possibles fins que no es van eliminar al cicló, així com aquells components volàtils (p.e. mercaptans i amoníac) que puguin produir olors abans de la evacuació a l'atmosfera.

⁵ Veure tecnologies de Herhof i Ecodeco

Com a mesures de seguretat per a evitar incendis, es controla amb un termòstat la temperatura dels gasos de sortida del tambor injectant vapor d'aigua fins als aspersors o injectors a la zona d'entrada del tambor. Per altra banda, existeix un control per infraroig que dóna senyal d'obertura a una electrovàlvula que permet la injecció de monòxid de carboni fins als injectors a la zona d'entrada del tambor.

1.1.1.2. Forns d'incineració.

1.1.1.2.1. Forn de graella.

El forn de graella és un forn d'incineració en el que els residus es transporten mitjançant una estructura de forma variable. Així mateix, la graella té les següents funcions:

– Avanç dels residus:

S'aconsegueix a partir del moviment de la graella i la seva inclinació.

– Barreja dels residus:

S'aconsegueix mitjançant el moviment de cadascun dels elements que formen la graella. Es produeix un volteig i avanç dels residus facilitant la seva barreja i homogeneïtzació.

– Atiar la flama:

L'efecte del moviment facilita la propagació de les brases i, amb això, l'acceleració de la combustió.

Els diferents sistemes de graelles poden diferenciar-se per la manera en què el residu es transporta a través de les diferents zones de la cambra de combustió. Cadascun ha de complir els requeriments per a la alimentació primària de l'aire, la velocitat de transport i la barreja adequada del residu.

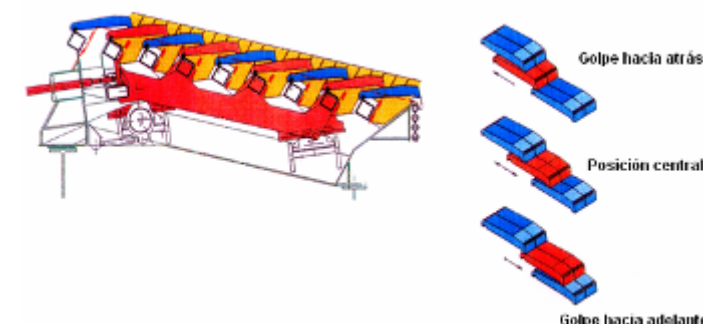
1.1.1.2.1.1 Alimentació cap endavant.

– Graderies transversals.

- Moviment simple.

Graella composta de barres longitudinals disposades en forma esglaonada, alternant mòbils i fixes. Les bigues mòbils posseeixen un moviment en el pla de la graella i un altre en el pla vertical, amb el que el material es mou i s'atia la flama.

L'accionament és independent en cada secció, amb el que es pot adaptar l'altura del foc i el temps de permanència.



Font: Fisia, Lentjes

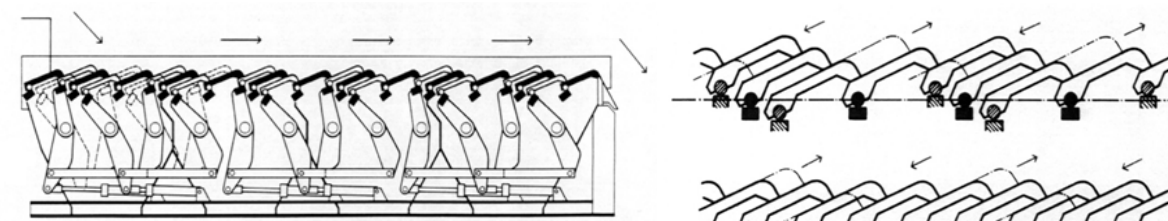
Figura 1. Graderies transversals de moviment simple.

- Moviment doble.

Graella amb una disposició superposada de fileres de barrots que es mouen en direccions oposades. Les graderies mòbils alternades amb graderies fixes, produeixen el moviment cap endavant dels residus.

Quan les graderies mòbils s'allunyen entre sí, s'enfonsen els residus en el forat creat i cauen partícules incandescentes, i a continuació, les graderies retornen, apropant-se entre sí. La capa de residus s'eleva i es produeix la ignició, situant el punt d'ignició a la part inferior de la capa de residus, accelerant la ignició dels residus que es troben a sobre.

Una vegada el residu s'ha sotmès a la ignició, es trasllada de forma continua fins a la part inferior de la capa de residus mitjançant la rotació i l'atrat d'aquesta. Això produeix, a més, un nou esponjament i redistribució dels residus.



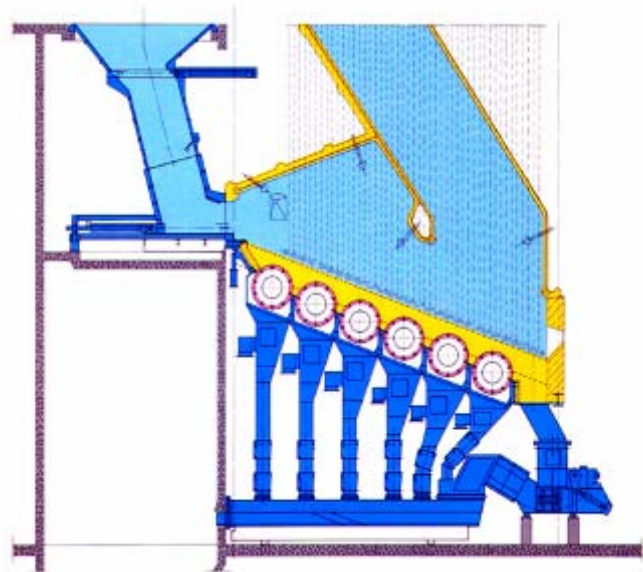
a)

Font: Martin GmbH

Figura 2. a) Graderies transversals de moviment doble. b) Vista detallada de les graderies.

- Rodets.

La graella està formada per una successió de rodets inclinats aprox. 20° sobre la horitzontal. A sota de cada rodet es situa el calaix de distribució d'aire i es realitza a la vegada la recollida de fons. La zona entre rodets actua de pulmó entre aquests, i assegura el volteig i barreja dels residus. Cada rodet disposa d'un accionament individual.



Font: Fisia

Figura 3. Forn de rodets.

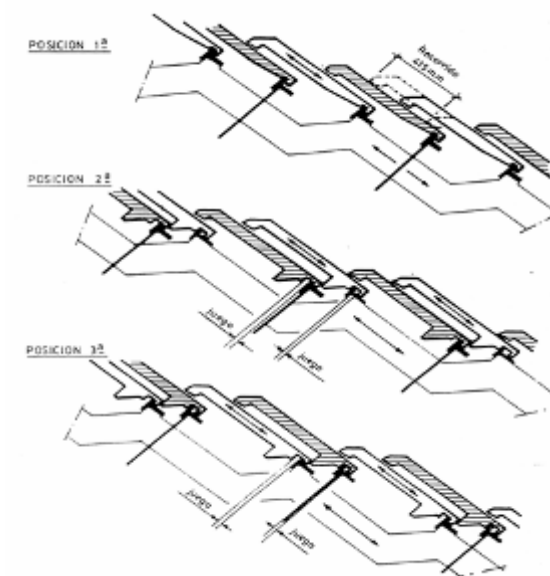
1.1.1.2.1.2 Alimentació en retrocés.

- Moviment solidari de graderies.

La graella està inclinada sobre la horitzontal en un angle aproximat de 25°, i està formada per una o varies seccions de graderies fixes i mòbils.

Les mòbils van muntades sobre barres en zig-zag i tenen un moviment de vaivé que atia la capa de residus impulsant-la a la part alta de la graella. S'aconsegueix que una part de la massa incandescent es traslladi fins a dalt i serveixi de brasa als residus frescos.

Així la combustió és molt intensa des de l'inici de la graella. Els residus incinerats sobre la graella descendeixen per la acció de la gravetat, amb un moviment de volteigs successius.



Fuente: Martin GmbH

Figura 4. Detall de les posicions de les graderies durant el moviment solidari.

Per a aconseguir una bona combustió, s'ha d'assegurar una bona distribució de l'aire d'incineració a l'interior del forn. Per això, s'injecta aire en diversos punts del forn, pel que varia la seva funció i la seva denominació:

- Aire primari és aquell que s'injecta a través de la graella i la funció del qual és la d'actuar com aire de combustió.
- Aire secundari s'injecta per sobre del llit de residus per a completar la combustió.

El temps de residència dels residus no sol superar l'hora, i s'extreuen en forma d'escòries, per l'extrem oposat de la graella.

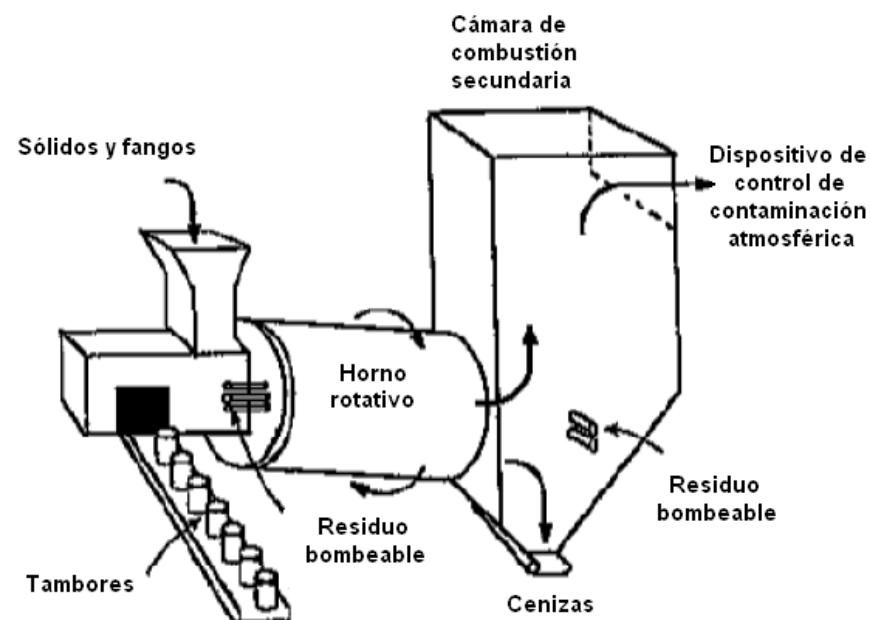
Típicament, els fons cauen a través de la graella, recuperant-se al recol·lector de cendres. En alguns casos, es recuperen separatament i poden reintroduir-se a la graella per a completar la combustió o eliminar-se directament. Els fons es poden recircular a la tremuja, sempre i quan es tingui especial cura en que no s'inflami el residu contingut en aquesta.

La refrigeració de graelles es realitza sovint amb aire, encara que en els casos a on el poder calorífic és major (12 – 15 MJ/kg), s'empria aigua freda com a fluid refrigerant, fent-lo circular a través de l'interior de la graella. El flux del fluid refrigerant avança des de les zones fredes fins a les calentes de forma progressiva, amb la finalitat de maximitzar la transferència de calor. La calor absorbida pel medi refrigerant pot ser aprofitada per a l'ús en el procés o per a ús extern.

1.1.1.2.2. Forn rotatiu.

El forn rotatiu consisteix en un cos cilíndric lleugerament inclinat en el seu eix horitzontal. El cilindre està normalment localitzat sobre rodets, permetent que el forn oscil·li al voltant del seu eix en un moviment recíproc, de manera que el residu es mou a través del forn impulsat tant per la gravetat com per la rotació.

A continuació es presenten els components principals per a un forn rotatiu d'incineració:



Font: Integrated Pollution Prevention and Control Referente Document on the Best Available Technique for Waste Incineration, 2006

Figura 5: Forn rotatiu d'incineració.

Els forns rotatius poden tractar gran part de residus, independentment del seu tipus o composició. No obstant això, s'apliquen majoritàriament per al tractament de residus perillosos i clínics.

Al treballar amb temperatures altes, es té el risc de fer malbé el material refractari de les parets del forn per estrès tèrmic, pel que alguns forns tenen una camisa refrigerada (per aire o aigua), que ajuda a allargar la vida del material de les parets, i disminuir el temps entre parades produïdes per al manteniment del forn.

El temps de residència del material sòlid al forn es determina per l'angle horitzontal del cos cilíndric i la velocitat de rotació. Per a aconseguir una bona combustió dels residus, es requereix un temps de residència d'entre 30 i 90 minuts.

1.1.1.2.3. Forn de llit fluïditzat.

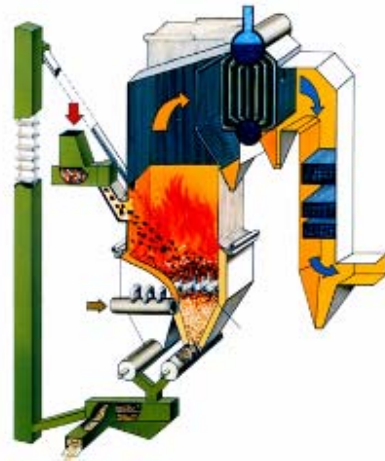
Un forn de llit fluïditzat consisteix en una càmera cilíndrica i vertical, la part inferior de la qual conté el material de llit. Aquest ha de ser inert, de grandària petita i esfèric, i capaç de fluïditzar en el moment en que se l'introdueixi el gas per a tal finalitat, típicament el material del llit és sorra o calcària.

L'aire usat en la fluïdització rep el nom de primari, i s'introdueix per la part inferior del llit. A banda de fluïditzar el llit, actua com a comburent. L'aire, denominat secundari, és el que s'utilitza per a la combustió completa dels gasos.

Segons el moviment del llit, es diferencien en:

– Llit fluïditzat bombollejant (BFB).

Es fa passar aire per la part inferior del forn a través d'una placa de distribució fins fer bombollear el llit mantenint-lo en suspensió. El residu és aproximadament el 2-3% en pes del llit. Les cendres volants s'arrossegueu amb els gasos de combustió i les escòries es recullen per la part inferior del forn.



Font: Kvaerner, Ae&e (SGP), IHI

Figura 6: Forn de llit fluiditzat bombollejant.

– Llit fluiditzat circulant (CFB).

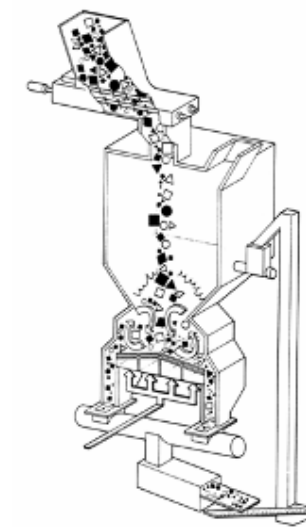
Aquesta tecnologia es va desenvolupar amb la intenció de millorar el llit bombollejant, i aconseguir una combustió més completa conjuntament amb un major control sobre la temperatura. En aquest cas, la velocitat d'aire a través del llit augmenta, amb el que part del material del llit s'arrossega amb els gasos de combustió.



Font: Kvaerner, Foster-Wheeler

Figura 7: Forn de llit fluiditzat circulant.

– Llit fluiditzat "Revolving type".



Fuente: Ebara

Figura 8: Forn de llit fluiditzat "Revolving Type".

A l'interior del llit fluiditzat, té lloc l'assecat, la volatilització, l'ignició i la combustió dels residus. Es produeix un gradient de temperatures, de manera que a la zona situada per sobre del llit, es donen temperatures d'entre 850°C i 950°C, permetent la retenció de gasos a la zona de combustió, mentre que a l'interior del llit la temperatura és menor, a l'entorn dels 650°C.

Gràcies a la capacitat del reactor de permetre una bona barreja, els forns de llit fluiditzat generalment tenen una bona distribució de temperatures i oxigen, el que permet una operació més estable.

1.1.2. Referències.

Com s'ha indicat anteriorment, les tecnologies d'incineració compten amb una amplíssima experiència i referències.

Com a manera d'exemple, es mostren dos dels tecnòlegs més importants actualment en el món. Degut a la seva àmplia presència mundial, s'ha realitzat una selecció presentant així únicament les plantes que posseeixen a Espanya, i les de major capacitat.

1.1.2.1. Martin Gmbh

A nivell espanyol:

Ubicació	Any	Línies	Capacitat de tractament de la planta		Potència		Tipus de graella
			Per línia (t/d)	Total (t/d)	Per línia (MW)	Total (MW)	
Bilbao, Espanya	2004	1	720	720	70	70	Graella d'alimentació en retrocés
Mataró, Espanya	1994	2	240	480	23	46	Graella d'alimentació en retrocés
Girona, Espanya	1983	2	72	144	6	13	Graella d'alimentació en retrocés

Font: Martin GMBH

Taula 2. Referències de Martin Gmbh en plantes d'incineració a Espanya.

A nivell mundial:

Ubicació	Any	Línies	Capacitat de tractament de la planta		Potència		Tipus de graella	Nº plantes total
			Per línia (t/d)	Total (t/d)	Per línia (MW)	Total (MW)		
Munich, Alemanya	1991	2	840	1.680	85	170	Graella d'alimentació en retrocés	29
Viena – Spittelau, Àustria	1993	2	360	720	38	76	Graella d'alimentació en retrocés	6
Brussel·les, Bèlgica	1985	3	555	1.665	53	161	Graella d'alimentació en retrocés	4
São Paulo-	1967	2	150	300	9	18	Graella	2

Ubicació	Any	Línies	Capacitat de tractament de la planta		Potència		Tipus de graella	Nº plantes total
			Per línia (t/d)	Total (t/d)	Per línia (MW)	Total (MW)		
Vergueiro, Brasil							d'alimentació en retrocés	
Vancouver, Canadà	1988	2	240	480	29	58	Graella d'alimentació en retrocés	2
Tongxing, China	2005	2	660	1.320	48	97	SITY 2000	7
Kang Nam, Corea del Sud	2001	3	300	900	29	87	Graella horitzontal	9
Roskilde, Dinamarca	1999	1	552	552	65	65	Graella horitzontal	2
Bratislava, Eslovàquia	2002	2	262	524	24	49	Graella d'alimentació en retrocés	1
París, França	1969	2	1.200	2.400	116	232	Graella d'alimentació en retrocés	64
Amsterdam, Holanda	1992	4	720	2.880	73	292	Graella horitzontal	13
Milan – Silla, Itàlia	2000	3	482	1.447	61	183	Graella horitzontal	11
Yokohama Minami Sakae, Japó	1976	3	500	1.500	62	186	Graella d'alimentació en retrocés	81
Luxemburg Luxemburg	1976	2	240	480	23	46	Graella d'alimentació en retrocés	2
Mònaco, Mònaco	1980	2	139	178	12	25	Graella d'alimentació en retrocés	2
Oslo, Noruega	1985	2	240	480	27	55	Graella horitzontal	3
Oporto, Portugal	1999	2	640	1.280	52	105	Graella d'alimentació en retrocés	1
Londres, Regne Unit	1994	2	696	1.392	68	136	Graella d'alimentació en retrocés	13
Moscou,	1999	2	200	400	14	29	Graella	3

Ubicació	Any	Línies	Capacitat de tractament de la planta		Potència		Tipus de graella	Nº plantes total
			Per línia (t/d)	Total (t/d)	Per línia (MW)	Total (MW)		
Rússia							d'alimentació en retrocés	
Singapur-Tuas, Singapur	2000	6	720	4.320	87	524	Graella d'alimentació en retrocés	3
Malmö, Suècia	2003	1	600	600	86	86	Graella d'alimentació en retrocés	9
Basel, Suïza	1998	2	360	720	47	94	Graella horitzontal	32
Phuket, Tailàndia	1998	1	250	250	24	24	Graella d'alimentació en retrocés	1
Fairfax County, USA	1990	4	680	2.720	91	365	Graella d'alimentació en retrocés	30

Font: Martin GmbH

Taula 3. Referències de Martin GmbH en plantes d'incineració en el món (selecció).

1.1.2.2. Von Roll Inova.

A nivell espanyol:

Ubicació	Any	Línies	Capacitat de tractament de la planta		Tipus de residus
			Per línia (t/d)	Total (t/d)	
Barcelona I (Besòs), Espanya	1975	2	360	720	RM
Barcelona II (Besòs), Espanya	1975	1	360	360	RM
Melilla, Espanya	1996	1	108	108	RM

Font: Von Roll

Taula 4. Referències de Von Roll Inova de plantes d'incineració a Espanya.

A nivell mundial:

Ubicació	Any	Línies	Capacitat de tractament de la planta		Tipus de residu	Nº plantes total
			Per línia(t/d)	Total (t/d)		

Ubicació	Any	Línies	Capacitat de tractament de la planta		Tipus de residu	Nº plantes total
			Per línia(t/d)	Total (t/d)		
Zorbau, Alemanya	2005	2	504	1.008	RM	26
Sydney, Australia	1973	2	269,04	538,08	RM	1
Viena, Àustria	1992	1	480	480	RM	3
Quebec, Canadà	1974	4	250,08	1.000,32	RM	2
Xiamen, China	2006	2	216	432	RM	1
Incheon, Corea	2005	2	250,08	500,16	RM	5
Nyborg, Dinamarca	1975	1	180	180	RM	1
Turku, Finlàndia	1975	2	120	240	RM	1
Salaise, França	2001	1	456	456	RM	35
Trezzo, Itàlia	2001	2	250,08	500,16	RM	8
Tokio, Japó	1997	1	600	600	RM	152
Beirut, Líban	1992	2	120	240	RM	1
Bergen, Noruega	1999	1	370,08	370,08	RM	2
Liberec, Rep. Txeca	1999	1	288	288	RM	1
Uppsala, Suècia	2005	1	633,12	633,12	RM	8
Genf, Suïssa	1993	2	499,92	999,84	RM	14
Taipei Pei Tou, Taiwan	1997	4	450	1.800	RM	5
Broward, USA	1991	3	679,92	2.039,76	RM	18

Fuente: Von Roll

Taula 5. Referències de Von Roll Inova de plantes d'incineració en el món (selecció).

1.2. Tractament de piròlisi.

La piròlisi és una degradació tèrmica d'una substància en absència d'oxigen afegit, per lo qual les esmentades substàncies es descomponen mitjançant calor, sense que es produeixin les reaccions de combustió.

Les característiques bàsiques de l'esmentat procés es detallen a continuació.

- L'únic oxigen present és el contingut en el residu a tractar.

- Les temperatures de treball, són inferiors a les de la gasificació, oscil·lant entre 300°C i 800°C.
- Les reaccions es produeixen en diferents etapes, segons els gradients de temperatura:

100 °C a 120°C: Assecat i despreniment d'aigua higroscòpica, sense donar-se encara una descomposició visible.

≤ 250°C: Desoxidació i dessulfuració; descomposició visible; despreniment d'aigua constitutiva i de diòxid de carboni.

> 250°C: Despolimeritzacions; inici del despreniment de H₂S.

≈340°C: Trencament dels enllaços alifàtics; metà i altres hidrocarburs comencen a separar-se.

≈380°C: Fase de carburació, en la que el material sotmès a destil·lació lenta s'enriqueix en carboni.

≈400°C: Trencament dels enllaços carboni-oxigen, carboni-nitrògen.

400 °C a 420°C: Transformació de les substàncies bituminoses en oli de destil·lació o quitrà de destil·lació.

< 600°C: Desintegració per calor de substàncies bituminoses, per la formació de substàncies resistents a la calor (hidrocarburs gasosos de cadena curta i grafit).

≥ 600°C: Generació d'aromàtics (derivats de benzè) segons el següent esquema teòric de reacció: olefines (etilè) – dimerització a butilè – deshidrogenació a butadiè – reacció diènica amb etilè a ciclohexà – aromatització tèrmica a benzè i aromàtics condensats de major pes molecular.

- Totes aquestes reaccions químiques depenen de:

- El residu d'entrada: composició i contingut en aigua.
- El tipus de reactor.
- Les condicions d'operació: temperatura, temps de reacció.

- Com a resultat del procés s'obté un:

- Gas, els components bàsics del qual són CO, CO₂, H₂, CH₄ i compostos més volàtils procedents del *cracking* de les molècules orgàniques, conjuntament amb els ja existents en els residus. Aquest gas és molt similar al gas de síntesi obtingut en la gasificació, excepte que degut a que la piròlisi treballa a temperatures inferiors a la gasificació, n'hi ha una major presència de quitrans, ceres, etc. en detriment de gasos.

Al no donar-se la reacció d'oxidació dels compostos més volàtils, el PCI del gas de síntesis procedent del procés de piròlisi tendeix a ser major que el del procés de gasificació, arribant entre 10 i 20 MJ/ Nm³.

- Residu líquid, compostat bàsicament per hidrocarburs de cadenes llargues com quitrans, olis, fenols, ceres formades al condensar a temperatura ambient.
- Residu sòlid, compostat per tots aquells materials no combustibles, els quals, o bé no han sigut transformats, o procedeixen d'una condensació molecular amb un alt contingut en carbó, metalls pesants i altres components inerts dels residus.

Les condicions d'operació amb les que es porta a terme la piròlisi poden variar diferenciant-se tres tipus:

- Piròlisi lenta: procés discontinu, (p=atm, T= 400 °C – 500 °C) en el que la velocitat d'escalfament és reduïda (<2°C/s), prolongant el seu temps de reacció entre 5 minuts i varies hores. En aquest procés, els vapors romandran durant temps en contacte amb el sòlids, produint-se reaccions de condensació i donant lloc a productes més característics i definits.
- Piròlisi ràpida: procés a buit i a temperatures elevades, pel que la velocitat de reacció és major que en el cas anterior. Els productes volatilitzats romandran uns segons al reactors, evitant les reaccions de condensació. S'utilitza sovint per a biomassa.
- Piròlisi "flash": procés en el que el temps de residència dels gasos és <0.5 s, i la transmissió de calor és molt ràpida. S'aplica a casos en els que el material a pirolitzar té un alt contingut en volàtils.

Així mateix, depenent de la temperatura de reacció, es classifiquen en:

- Processos de baixa temperatura: operen a temperatures <550 °C, produint principalment quitrans, olis i un residu carbonós.

- Processos de temperatura mitja: operen en el marge de temperatures entre 550°C i 800°C, obtenint-se elevats rendiments de gas.
- Processos a alta temperatura: operen a temperatura >800 °C i produeixen elevades quantitats de gas, degut al *cracking* de quitrans.

Les baixes temperatures de treball provoquen una menor volatilització de carboni i altres contaminants precursors en la corrent gasosa, com metalls pesants o dioxines. Per això, els gasos de combustió necessitaran teòricament un tractament menor per a complir els límits mínims d'emissions fixats en la Directiva d'incineració. Els compostos que no es volatilitzin, romandran als residus de la piròlisi i necessitarà ser gestionat adequadament.

Els avantatges en el procés de piròlisi inclouen:

- La possibilitat de recuperar fraccions orgàniques, com per exemple el metanol.
- La possibilitat de generar electricitat usant motors de gas o turbines de gas per a la generació, en lloc de calderes de vapor.
- Reduir el volum dels gasos de combustió, per a reduir el cost d'inversió en el tractament de gasos de combustió.

Els avantatges d'emissió dels gasos de combustió aconseguits en aquest procés es veuran reduïts, quan es realitzi un procés a altes temperatures com la gasificació o la combustió.

Els residus sòlids procedents de la piròlisi poden contenir carboni, en una proporció superior al 40%, contenint una proporció significativa d'energia del residu d'entrada.

Per aquest motiu, la recuperació energètica del forn és important per a l'eficiència energètica. Aquesta es pot portar a terme de distintes maneres.

- Combustió de gasos i olis obtinguts, mitjançant un cicle de vapor per a la producció d'energia elèctrica.
- Aplicació com a etapa prèvia a un procés de gasificació.
- Ús del producte sòlid com a combustible en altres instal·lacions industrials, com per exemple, en plantes cimenteres.

1.2.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.

1.2.1.1. Pretractaments i característiques dels residus.

Per a poder tractar els residus mitjançant piròlisi, s'han de complir una sèrie de requisits. No obstant això, és difícil definir la tipologia de residus considerats com a adequats o inadequats, donat que està molt relacionat amb el tipus de reactor usat i de les condicions d'operació. Bàsicament, es consideren com a residus més aptes: paper, cartró, chips de fusta, residus de jardí i alguns plàstics seleccionats.

En qualsevol cas, en quant a la classificació i al pretractament són d'aplicació en major o menor mesura, els mateixos criteris que per a la gasificació.

1. Els residus han de procedir d'un sistema de recollida selectiva i, en el seu defecte, s'han de sotmetre's a un sistema de classificació previ a la planta de piròlisi.
2. No són admissibles els residus voluminosos, els metalls, els materials de construcció, els residus peril·losos, vidre i alguns plàstics, com el PVC.
3. Es requereix triturar, assecar i homogeneïtzar els residus, essent els límits d'aplicació diferents per a cada tipus de procés. Per exemple, si es considera la humitat del residu, s'observa que en el procés de Thide Environment, es fixa una humitat de l'ordre del 10%, mentre que en el cas de Compact Power, on la primera fase és un forn de piròlisi, es fixa humitat fins un 50%.

1.2.1.2. Forns de piròlisi.

Els forns usats, típicament, en piròlisi són els forns rotatius i els forns de tubs escalfats externament ("heated tubes"), els quals s'expliquen a continuació amb més detall.

1.2.1.2.1. *Forns rotatius.*

Estructuralment, els forns rotatius són similars als forns rotatius d'incineració, consistint en un cos cilíndric i lleugerament inclinat sobre el seu eix horitzontal. Aquest tambor es col·loca sobre rodets permetent la rotació o la oscil·lació sobre el seu eix. Els residus s'alimenten per un extrem del tambor i són transportats a través d'ell per gravetat. A mesura que els residus progressen a través d'ell, s'assequen i es descomponen tèrmicament. La rotació lenta del tambor permet una barreja més exhaustiva, i exposa a un millor contacte entre les diferents

fraccions dels residus, els gasos i les superfícies calents. Les principals diferències radiquen en la temperatura de treball, així com la resta d'equips auxiliars.

Pot afegir-se un material alcalí al forn rotatiu per a ajudar a retenir els compostos àcids.

1.2.1.2.2. Forns tubulars escalfats externament ("heated tubes").

Els residus es desplacen a través d'un forn tubular escalfat externament. El moviment pot aconseguir-se mitjançant un impuls o per moviment en forma de cargol. La calor indirecta es subministra normalment mitjançant gasos calents procedents de combustió de part del gas de síntesi.

Aquests sistemes de piròlisi s'utilitzen normalment com a primera etapa del tractament tèrmic, seguit d'una segona etapa de gasificació per a transformar major part del combustible en gas de síntesi.

A continuació es presenta una selecció dels principals tecnòlegs de piròlisi.

S'ha de destacar que de les instal·lacions presentades a continuació, cap de les que actualment estan operatives tenen com a objectiu l'aplicació del gas de síntesi en motors tèrmics o cicles combinats.

1.2.2. SIEMENS.

1.2.2.1. Introducció.

Siemens AG és una multinacional, la seu de la qual es troba a Berlín, Alemanya, i va ser fundada l'any 1847. Degut a la seva magnitud corporativa, els seus camps d'aplicació són molt amplis:

- Tecnologia aplicada a la medicina.
- Indústria electrònica i equipament mecànics.
- Serveis industrials.
- Telecomunicacions.
- Transport logístic i infraestructura.

A més, s'aplica la seva infraestructura a la indústria bàsica de procés: ciment, alimentació, vidre, metalls, mineria, gas, paper, farmacèutica, sucre, aigua, química, etc.

En el sector de tractament de residus ja no està actiu, encara que va desenvolupar un procés pirolític per a tractament de RM, la llicència del qual la va adquirir Mitsui Babcock. Durant 10 anys, aquest procés va estar en fase d'experimentació a la planta pilot de Ulm, Alemanya, fins l'any 1994, moment en el que va començar la construcció de la seva primera planta de tractament d'aquest tipus, en Fürth (Alemanya), finalitzada l'any 1996. Finalment va tancar en 1998, per no complir amb els requisits desitjats.



Font: SIEMENS

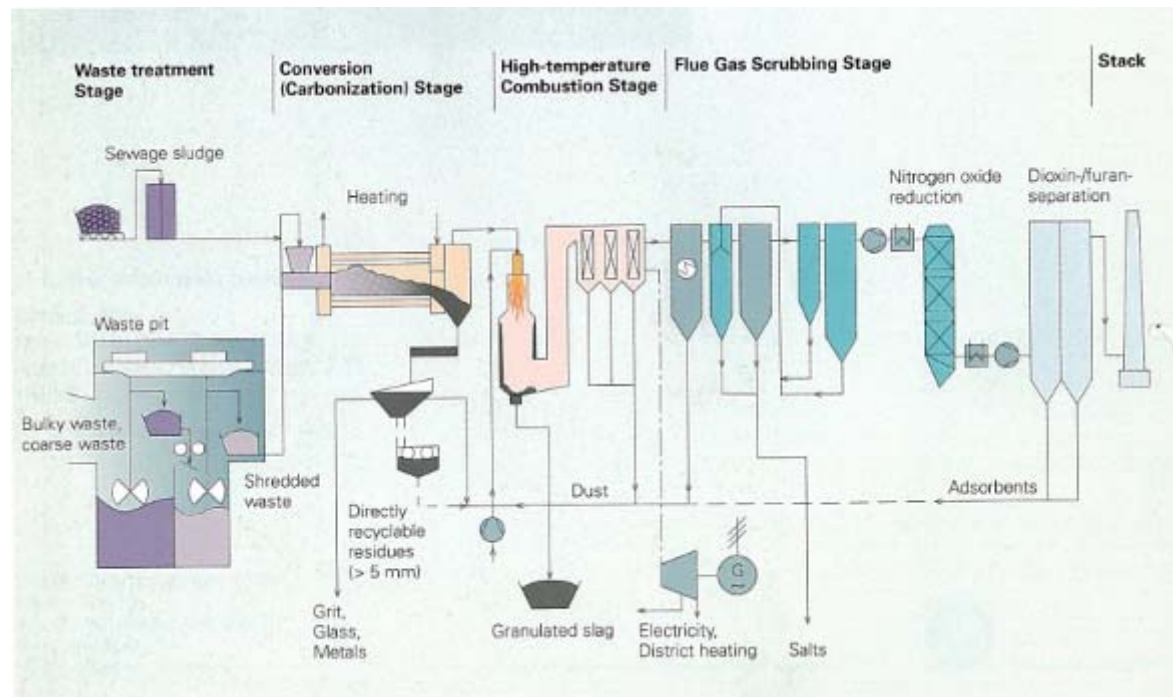


Figura 9: a) Planta pilot de Ulm (Alemanya); b) Planta en construcció de Fürth (Alemanya)

1.2.2.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés es basa en una piròlisi en forn rotatiu dels residus, seguida d'una combustió a altes temperatures dels gasos produïts en l'etapa anterior.

A continuació es mostra el diagrama de l'esmentat procés.



Font: SIEMENS

Figura 10: Diagrama de procés del procés Siemens

1.2.2.3. Descripció del procés.

El procés es divideix en les següents etapes:

- Pretractament de residus.
- Piròlisi.
- Combustió a altes temperatures.
- Depuració dels gasos de combustió.
- Generació energètica.

Pretractament de residus.

Els residus s'emmagatzemaran en una fossa de residus, separant els residus voluminosos i els llots de depuradora de la resta de RM, i mitjançant grues es transporten als trituradors rotatius. Allà els residus es trituren fins a reduir la seva grandària de partícula a 200 mm. Una vegada triturats, es transporten al forn de piròlisi.

Piròlisi.

La piròlisi es produeix a l'interior d'un forn rotatiu, el qual està inclinat 1,5° sobre la horitzontal i la seva velocitat de rotació és d'aproximadament 3 rpm. Allà, els residus triturats i



Font: SIEMENS

Figura 11: Forn de piròlisi (planta pilot)

homogeneïtzats estan sotmesos a una temperatura de fins 400°C, en una atmosfera en presència únicament de l'oxigen que pugui estar contingut als residus.

Durant aquest procés es produeixen gasos de piròlisi i residus sòlids. El gas es subministra directament a la cambra de combustió, mentre que el residu sòlid s'extreu del forn per al seu posterior tractament.

Els residus sòlids s'extreuen del forn de piròlisi a aproximadament 450°C i es refreden a una temperatura inferior als 150°C mitjançant un transportador vibrant refrigerat.

A continuació, els residus travessen un filtre de 5 mm de pas de malla, a on es separen en dos fraccions, gruixuts i fins. La fracció de gruixuts, està formada principalment per metalls fèrrics, metalls no fèrrics i inerts (principalment vidre, material ceràmic i sorra) mentre que la fracció de fins conté més del 99% del carbó sòlid.

La fracció de fins s'emmagatzema en una sitja, des del que es transporten pneumàticament a la cambra de combustió juntament amb el gas de piròlisi. El filtre incrementa la concentració de carbó en la fracció de fins a aproximadament 30%, resultant un PCI mínim d'uns 10.000 kJ/kg.

Combustió a altes temperatures

El gas de piròlisi i els residus fins arrossegats en el mateix, es cremen a uns 1.300°C a la cambra de combustió que, juntament amb el temps de residència adequat, permeten la destrucció de les substàncies orgàniques.

A la seva vegada, la temperatura de combustió supera en aproximadament 100 o 150°C el punt de fusió de les cendres, per lo que l'escòria pot fluir en un estat fos a la unitat d'eliminació. L'escòria es granula per a formar una substància vítria i inert.

La energia tèrmica continguda en el gas de combustió s'utilitza per a generar vapor en la caldera de recuperació de calor dels gasos de combustió (HRSG). Aquest vapor s'empra en la generació d'electricitat i/o subministrament a una xarxa de distribució de calor. Les cendres volants eliminades del HRSG, es tornen a la cambra de combustió a on es fonen i s'incorporen a les escòries.

Depuració de gasos de combustió.

Aquesta etapa consisteix en un precipitador electrostàtic, un vaporitzador, un filtre de mànigues i un sistema de scrubber de dues etapes per HCl i SO₂.

Els gasos procedents de la cambra de combustió a altes temperatures, passen a través d'un catalitzador reductor selectiu (DeNO_x), i es redueixen les quantitats de dioxines i furans, s'eliminen metalls pesants residuals, SO₂ i HCl residual.

A continuació, mitjançant un ventilador, els gasos es condueixen a les etapes de separació. Després d'un refredament a uns 250°C, i passar a través del precipitador electrostàtic, a on es recol·lecta la pols que puguin contenir els gasos de combustió, els gasos s'introdueixen al vaporitzador.

Al vaporitzador, els gasos de combustió s'uneixen amb la recirculació de la solució del scrubber, la qual conté sals i residus sòlids. Això provoca que els gasos es refredin fins uns 70°C, i els residus sòlids es puguin extreure del sistema de depuració. No obstant això, abans d'entrar a l'etapa de scrubber, es fan passar a través d'un filtre per a eliminar possibles traces de partícules.

Finalment, s'introdueixen en el scrubber, que està dividit en dues etapes. La primera elimina el HCl i el HF del gas, mentre que a la segona etapa s'elimina el SO₂ present als gasos, per addició de CaCO₃.



Font: SIEMENS

Figura 12: Sistema de depuració (planta pilot)

Generació energètica

El vapor produït en el HRSG pot utilitzar-se únicament per a la generació d'electricitat o per a la generació de potència elèctrica i calefacció per "district heating". L'energia tèrmica neta de sortida d'aquesta instal·lació és comparable a la d'una planta incineradora.

El procés de generació d'energia consisteix en:

- L'aigua d'alimentació s'escalfa fins a aproximadament 170°C, tant en el prescalfador a baixa pressió, com en el tanc d'alimentació. L'aigua d'alimentació es bombeja al HRSG, el qual està dissenyat per a condicions de vapor de 40 bar i 400°C. Aquest vapor s'expandeix en una turbina fins 0,16 bar aproximadament, i a continuació entra a l'aerocondensador. Finalment, les bombes de condensat transporten el vapor condensat fins l'etapa de prescalfament de l'aigua d'alimentació, tancant així el cicle.

1.2.2.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
	Actualment no disposa de cap referència en tractament de residus per piròlisi.

1.2.2.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA per a cada tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 10 MJ/kg	
Entrades	kg
RM	1.000
Cal	7,5
Sortides reciclables	
Metalls fèrrics	45
Metalls no fèrrics	5
Inerts	45
Escòria granulada	168
HCl	21,5
Guix	8,5
Sortides no reciclables	Kg
Metalls pesants amb cendres volants	2

Fuente: SIEMENS

Taula 6: Balanç de masses del procés de piròlisi de Siemens

Alguns paràmetres característics del procés de Siemens, són els següents:

- Potència tèrmica de sortida.....51,3 MW
- Potència instal·lada.....9 MW
- Eficiència..... 17,5 %

1.2.2.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/d)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1984 – 1994 (no està operatiu en l'actualitat)	Ulm, Alemanya	2	RM
1994 – 1998 (no està operatiu en l'actualitat)	Fürth, Alemanya	480	RM

Fuente: SIEMENS

Taula 7: Referències de plantes de piròlisi de Siemens

1.2.3. **MITSUI BABCOCK.**

1.2.3.1. Introducció.

Mitsui Babcock és una companyia que a l'any 1995 es va crear la fusió entre Babcock & Wilcox (empresa dedicada a tecnologies de generació de vapor i establerta en el Regne Unit des de 1891), i Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd., una de les companyies d'enginyeria més grans del món. Posseeix la seu principal en Crawley (Anglaterra) amb altres ubicades en Renfrew (Escòcia), en Shanghai (Xina) o en Atlanta (USA).

Mitsui Babcock és bàsicament una empresa d'enginyeria amb un ampli camp de treball: generació d'energia, petroquímica, nuclear, farmacèutica, gas-oil, industrial.

El concepte del procés R-21 va ser desenvolupat per Siemens en Alemanya durant els anys 80, i ha sigut desenvolupat i comercialitzat sota llicència de Siemens, per Mitsui Babcock al Japó, durant els anys 90.

Mitsui Babcock va realitzar millores significatives, tant en el disseny com en la filosofia operacional del procés, aplicant-lo en el seu dia a la planta pilot, situada inicialment a Yokohama (Japó). A l'any 1997 va rebre el seu primer encàrrec per a una planta comercial a Yame Seibu, prop de Fukuoka (Japó). Els requeriments del client inclouen:

- La construcció de processos de tractament tèrmic de RM, amb una recuperació de calor i generació de potència, per a una capacitat de 220 tones/dia.
- La construcció d'una fossa per al tractament de residus, amb capacitat de 50 tones subministrades durant 5 hores al dia.

Aquestes construccions inclouen la recuperació de metalls fèrrics, dels residus que s'alimentaven a la planta.

La planta es va posar en marxa durant el període comprés entre desembre de 1999 i febrer de 2000, i va sofrir una sèrie de modificacions i proves de garanties durant febrer i març del 2000. La planta va ser recepcionada pel Client i lliurada per a operacions comercials a finals de març del 2000.

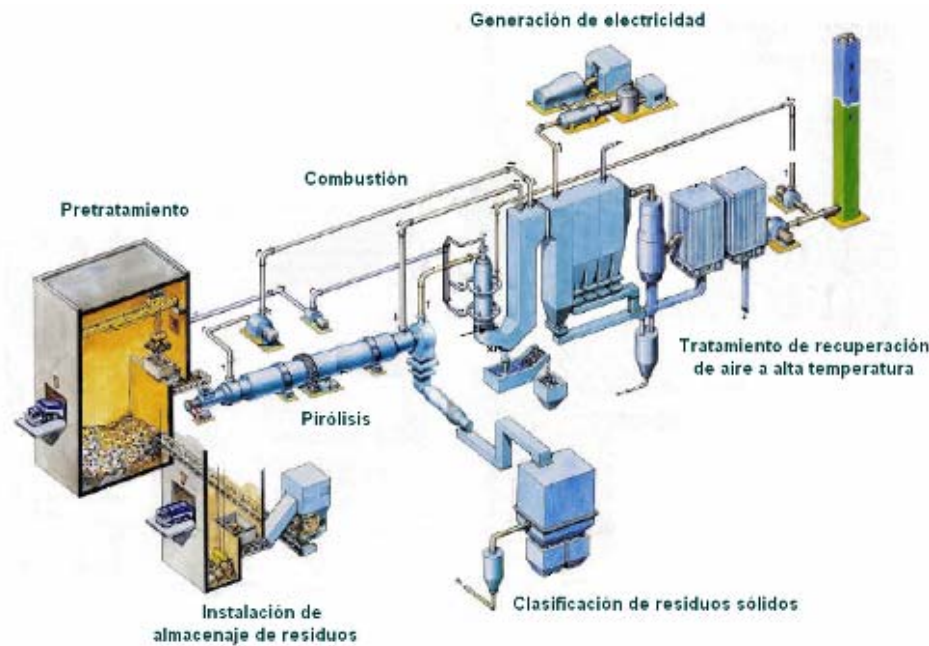


Font: MITSUI BABCOCK

Figura 13: Planta Ebetsu, Japó.

1.2.3.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés Mitsui R-21, la llicència de la qual pertany a Siemens Corporation, és una combinació de piròlisi i combustió a altes temperatures amb fusió d'escòries, incorporant la recuperació dels metalls fèrrics i no fèrrics i la producció de cendres foses com productes.



Font: MITSUI BABCOCK

Figura 14: Diagrama de procés de piròlisi de Mitsui Babcock

1.2.3.3. Descripció del procés.

El procés es divideix en varies etapes:

- Pretractament de residus.
- Piròlisi.
- Combustió a altes temperatures.
- Generació d'energia elèctrica.
- Depuració dels gasos de combustió.

Pretractament de residus.

Els residus s'introdueixen en la unitat de trituració biaxial, la qual redueix la grandària de partícula del residu a aproximadament 200mm. A continuació es diposita a la tremuja d'alimentació del forn rotatiu.

Piròlisi.

Els residus triturats entren al forn rotatiu, escalfant externament, i sotmetent-los a una temperatura de 450°C, operant a pressió per sota de l'atmosfèrica, en absència d'aire i amb un temps de residència d'1 hora aproximadament. En aquestes condicions, els residus pirolitzen formant dos productes:

- Gasos de piròlisi, els quals es porten directament a la cambra de combustió a altes temperatures.
- Residu sòlid, format per sòlids inorgànics i metalls. Aquest residu, per la seva part, entra en el *quench*, i posteriorment es recuperen els metalls fèrrics i no fèrrics. El sòlid resultant, constituït per una fracció combustible i una altra fracció de material inert procedent dels residus que es trituren fins a una grandària de partícula d'1 mm. es reintrodueixen pneumàticament a la cambra de combustió, juntament amb el gas procedent de la piròlisi.

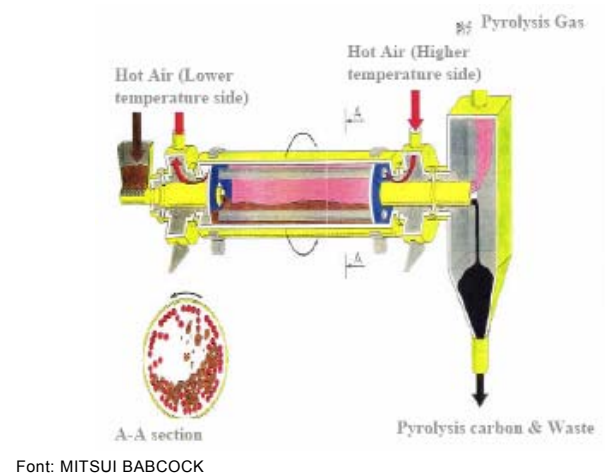


Figura 15: Forn de piròlisi

Combustió a altes temperatures

La cambra de combustió treballa a una temperatura elevada, de l'ordre de 1.300°C, i assegurar així una completa combustió dels gasos procedents del forn, així com la fusió del residu sòlid i reduir la potencial formació de dioxines i de NO_x. Degut a que la cambra de combustió opera com un forn ciclònic, les partícules de cendres s'adhereixen a les parets del forn, fonent-se i descendent fins a fons a on s'uneixen amb la unitat d'escòries.

Les cendres i escòries foses es refreden ràpidament produint un material inert, granulat i vitrificat. Com els metalls s'han extret anteriorment, les escòries estan en gran majoria, lliures de metalls i així són aptes per a comercialitzar-se com a material de construcció de carreteres.

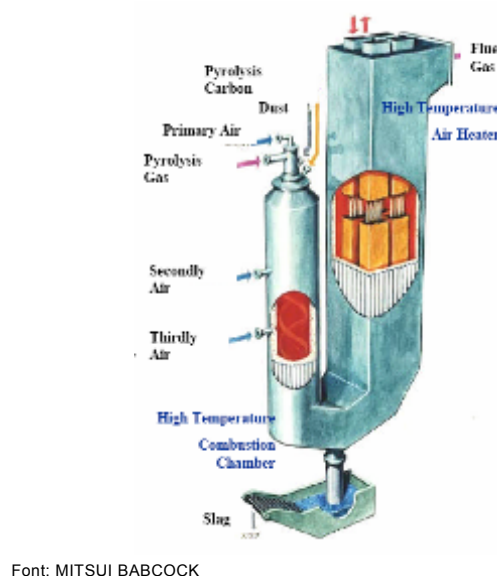


Figura 16: Combustió a alta temperatura

Generació d'energia elèctrica.

Els gasos de combustió procedents de la cambra de combustió a altes temperatures, s'empren en l'escalfador d'aire d'alta temperatura. Aquesta unitat genera aire calent a una temperatura aproximada de 520°C, i s'empra en l'escalfament extern del forn de piròlisi.

El bescanvi de calor entre els gasos de combustió i l'aire usat en l'escalfament del forn de piròlisi, provoca que es refredi des de 600°C fins a 400°C i 40 bar de pressió. Sota aquestes condicions, s'introdueixen en la caldera de generació de vapor.

El vapor resultant s'introdueix al turbogenerador, per a produir l'electricitat requerida per a cobrir les necessitats internes i poder exportar l'excedent a la xarxa exterior. La caldera està dissenyada per a minimitzar la corrosió a altes temperatures.

Depuració dels gasos de combustió

Els gasos de combustió s'introdueixen en dos filtres de mànigues col·locats en sèrie. En primer lloc, els gasos de combustió de la sortida de la caldera es refreden a 170°C al refredador, i travessen el primer filtre de mànigues, a on s'extreuen les cendres volants.

Al segon filtre de mànigues, s'inclou un sistema d'injecció de cal per a la disminució d'emissions de gasos àcids. El producte recollit en aquest filtre comprèn una barreja de cal sense reaccionar, sulfat i sulfit càlcic i clorur càlcic.

Les cendres volants recuperades en la caldera, i les extretes en el primer filtre de mànigues es retornen al procés, juntament amb el carbó de piròlisi. Per la seva part les sals generades i extretes en el segon filtre s'envien a abocador controlat.

1.2.3.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
- Posseeix un ampli nombre de referències.	- Totes les seves referències estan exclusivament al Japó.
	- El procés no busca una producció de gas de síntesi per a la seva exportació comercial, si no la producció d'un residu sòlid vitrificat per a la seva comercialització a plantes cimenteres.

1.2.3.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA		
Entrades	t	%
RM	20.477	100
Sortides		
Escòries	1.568	7,66
Residu àcid de neteja de gasos	728	3,56
Recuperació de metalls fèrrics	80	0,39
Recuperació de metalls no fèrrics	32	0,15

Font: MITSUI BABCOCK

Taula 8: Balanç de matèria de Mitsui Babcock per al procés R-21

BALANÇ ENERGIA per a cada tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 10 MJ/kg	
Entrades	
RM	31.475
Aigua d'alimentació calent	5.160
Gasos de combustió circulants	662,6
Cendres circulants	16,7
Aigua de refrigeració	597,8
Aire de combustió	45,2
Escòria (<i>Slag tap heating burner</i>).	272,1
Sortides	
Pèrdua de gasos de combustió	3098,9
Gasos de combustió circulants	902,5
Cendres volàtils	62,4
Vapor recuperat	27.826
Purgues de caldera	78,7
Escòries	359,6
Metalls fèrrics i no fèrrics	1,3
Aigua de refrigeració	1.095,9
Pèrdua de calor	2.862,8
Pèrdua d'aire calent	1.941,9

Font: MITSUI BABCOCK

Taula 9: Balanç d'energia de Mitsui Babcock per al procés R-21

1.2.3.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/d)	Tipus de residu d'entrada a la planta
2000	Fukuoka, Japó	110 x 2	RM
2002	Aichi, Japó	200 x 2	RM
2002	Hokkaido, Japó	70 x 2	RM
2002	Hokkaido, Japó	13 x 2	RM
2003	Fukuoka, Japó	105 x 2	RM
2003	Yamanashi, Japó	105 x 2	RM

Font: MITSUI BABCOCK

Taula 10: Referències de plantes de piròlisi de Mitsui Babcock

1.2.4. THIDE ENVIRONMENT.

1.2.4.1. Introducció.

Thide Environment és una companyia francesa creada l'any 1994, dedicada al disseny i implantació de plantes de tractament tèrmic de residus, el procés del qual es denomina EDDITh[®]. Posseeixen varies referències, una d'elles situada en Arras (França) i la resta al Japó. Per altra banda, Hitachi Ltd., posseeix llicència per a l'aplicació del procés EDDITh[®] al Japó.

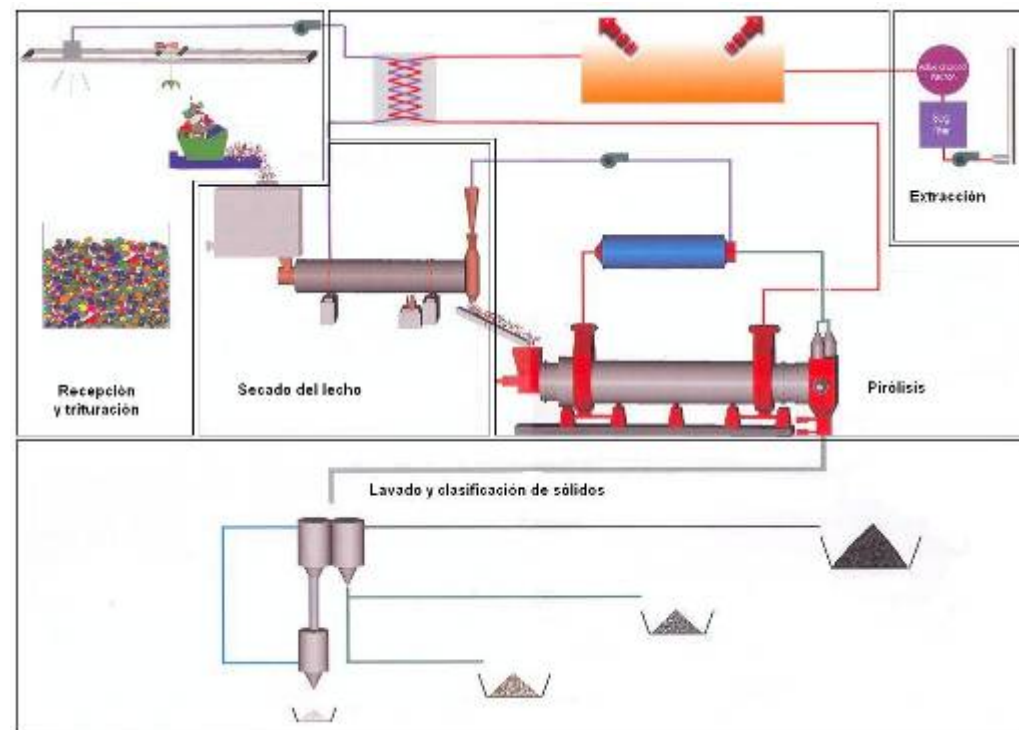


Font: THIDE ENVIRONMENT

Figura 17: Planta de Thide Environment (Arras, França)

1.2.4.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés EDDITH® consisteix en un forn rotatiu de piròlisi, seguit d'una cambra de combustió a altes temperatures amb un cremador de NO_x i depuració tant dels gasos de combustió com del residu sòlid generat al forn de piròlisi.



Font: THIDE ENVIRONMENT

Figura 18: Diagrama de procés de Thide Environment

1.2.4.3. Descripció del procés.

El procés Edith® consta de les següents etapes:

- Recepció de residus, pretractament i emmagatzemat.
- Tractament tèrmic.
- Depuració de gasos de combustió.
- Producció elèctrica.

Recepció de residus, pretractament i emmagatzemat.

Els residus han de tractar-se prèviament a la seva entrada a l'etapa de tractament tèrmic. Per això, en primer lloc s'emmagatzemen en una fossa situada en un edifici tancat en lleugera

depressió que evita l'emissió de pudors a l'exterior. Per altra banda disposa també d'un sistema per a la recollida de lixiviats.

Mitjançant una grua es recull el residu de la fossa i es diposita en una tremuja equipada amb un dosificador en el seu fons, la qual descarrega en l'interior d'un tròmel, on s'homogeneïtzen els residus. A la sortida del tròmel, els residus circulen per una cinta transportadora, la qual disposa d'un electroimant que permet separar els metalls fèrrics presents en ells. A més es separen els residus voluminosos, materials inerts i fraccions metàl·liques no magnètiques que pogués haver.

La resta s'introdueix en un molí de martells per a la trituració i aconseguir una grandària de partícula òptima per a les operacions següents.

Una vegada triturats, els residus s'emmagatzemen en una segona fossa, a on s'extreuen per mitjà de la mateixa grua, per a introduir-se a l'etapa d'assecat.

Es requereix que els residus que entren al forn de piròlisi, tinguin una humitat màxima del 15%. Així doncs, els residus s'introdueixen en un assecador rotatiu dotat de calentament extern i a través del qual flueix una corrent d'aire calent i sec. Amb la rotació, els residus es remouen, presentant major superfície de contacte amb l'aire i major eficàcia d'assecat. Els residus, una vegada secs, s'introdueixen mitjançant una cinta transportadora a la tremuja d'entrada al forn de piròlisi.

L'aire emprat en aquesta etapa, s'introdueix en un cicló que recupera les partícules sòlides que hagin pogut ésser arrossegades, i s'introdueix posteriorment en un condensador per a condensar els bafes de l'assecador. D'aquesta forma l'aire, lliure d'humitat, es reutilitza en l'assecat en un circuit tancat evitant la sortida de gasos a l'exterior i minimitzant l'emissió d'olors desagradables. L'aigua condensada s'envia a un dipòsit d'emmagatzematge per a aprofitar-se posteriorment.

Tractament tèrmic.

Els residus s'introdueixen en un forn rotatiu de camisa doble, per la que flueixen els gasos produïts en la combustió del gas de piròlisi.



Font: THIDE ENVIRONMENT

Figura 19: Forn rotatiu de piròlisi

En el seu interior, els residus estan sotmesos a temperatures d'entre 450°C i 700°C (depenent del tipus de residu tractat), i un temps de residència d'uns 45 minuts.

Sota aquestes condicions, i en absència d'aire es permet el *cracking* dels residus obtenint-se:

- Un gas, a una temperatura d'uns 400°C que es crema posteriorment en una cambra de combustió a altes temperatures (1.200°C), com un combustible gasós convencional. Una part del gas cremat s'empra en la camisa del forn de piròlisi, per a aconseguir així la temperatura desitjada, i per altra banda, per a assecat el residu i el producte sòlid obtingut. L'altre part, s'empra per al seu aprofitament energètic en un motor de combustió interna.
- Un residu sòlid, el qual després de ser rentat i de la separació d'elements metàl·lics i inerts, és el denominat Carbor®, emprat com a combustible per a altres instal·lacions, com per exemple, cimenteres.

Finalment, els efluents procedents del rentat del residu sòlid s'envien a una planta de tractament d'aigües residuals, per a tractar la càrrega de contaminants, sals i metalls pesants.

Depuració de gasos de combustió.

Prèviament a la seva entrada al motor de combustió interna, els gasos han de ser depurats, ja que contenen certs components perjudicials pel funcionament del motor, com aigua (procedent de la humitat continguda en els residus), halògens, compostos sulfurosos i pols. Per a eliminar-los, la corrent gasosa que surt de la cambra de combustió s'introdueix en un scrubber, a on la dutxa d'aigua amb cal refreda i neutralitza els gasos. A la seva vegada, es condensen els quitrans i es retè la major part de les partícules de pols i d'algun metall pesat

que, eventualment, estigui present a la corrent gasosa. Finalment, els gasos travessen un absorbidor d'humitat i queden potencialment acondicionats per al seu ús en el motor de combustió.

Producció elèctrica.

Els gasos nets s'introdueixen en un compressor per a acondicionar-los per a la seva entrada al motor.

Gran part de l'electricitat generada s'autoconsumeix en la pròpia planta. L'excedent s'exporta a la xarxa elèctrica.

Els gasos de combustió d'escape del motor, a una temperatura aproximada de 450°C, s'utilitzen com a fluid calefactor per a l'assecat dels residus, amb lo que s'aconsegueix un estalvi energètic addicional.

L'aigua de refrigeració del motor, a uns 90°C, constitueix una font de calor addicional, que pot destinar-se a la generació d'aigua calent per als serveis de la planta o bé comercialitzar-se amb empreses externes.

1.2.4.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Generació de Carbor®, combustible alternatiu per a comercialitzar en cimenteres.	– Únicament disposa de tres referències a nivell mundial. – La referència europea és molt recent, i encara no assegura una fiabilitat suficient.

1.2.4.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA per a cada tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 8,4 MJ/kg	
Entrades	kg
RM	1.000
Aire	2.555
Sortides	
Metalls fèrrics	40
Inerts	100

Carbor®	320
Fums	3.185

Font: THIDE ENVIRONMENT

Taula 11: Balanç de matèria del procés Thide environment.

1.2.4.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/any)	Tipus de residu d'entrada a la planta
2002	Itoigawa, Japó	25.000	RM
2003	Izumo, Japó	70.000	RM
2004	Arras, França	50.000	RM, residus d'empreses petites, residus de tractament de llots.

Font: THIDE ENVIRONMENT

Taula 12: Referències de plantes de Thide Environment.

1.2.5. VON ROLL.

1.2.5.1. Introducció.

Von Roll Inova és una companyia suïssa, fundada l'any 1823. A l'any 1933 va començar a desenvolupar les seves activitats per al tractament de residus. Quatre anys més tard, va construir la seva primera planta d'incineració de residus a Dordrecht (Holanda).

Actualment, posseeix més de 300 plantes operatives en tot el món amb incineració. A més ha sigut el màxim subministrador d'incineradores de graelles mòbils convencionals per a RM, durant més de 60 anys, i és un dels líders mundials en tecnologia de tractament tèrmic de residus.

S'ha de destacar que, únicament disposa d'una referència amb un procés de piròlisi, situada a Bremerhaven (Alemanya) que va deixar d'estar operativa l'any 2005.

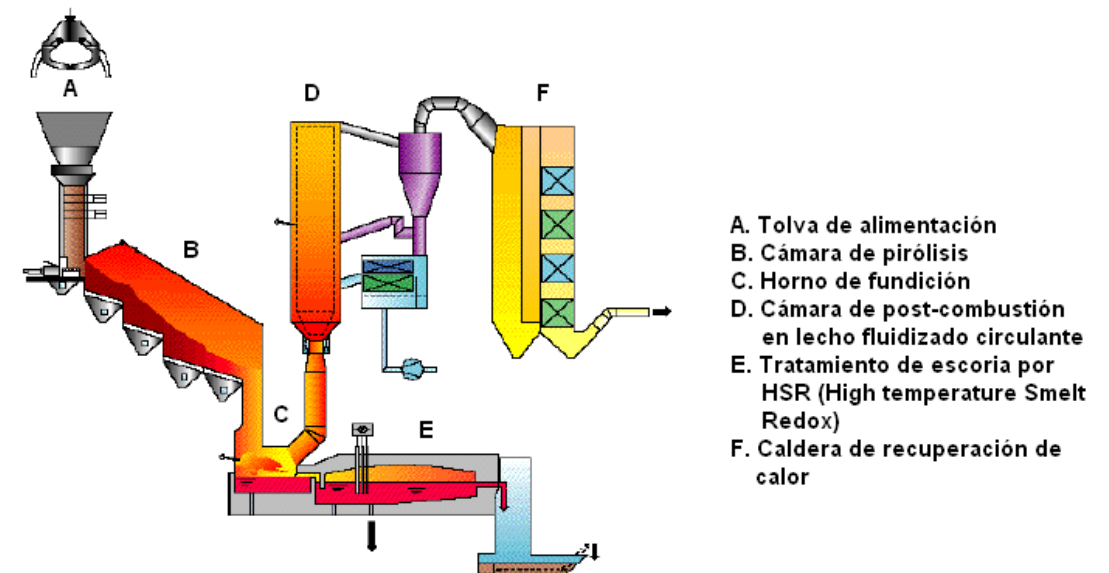


Font: VON ROLL

Figura 20: Planta de piròlisi de Bremerhaven, Alemanya

1.2.5.2. Descripció general de la tecnologia.

El seu procés està basat en la gasificació en graella dels residus, seguida d'una combustió a alta temperatura dels gasos generats.



Font: VON ROLL

Figura 21: Diagrama de procés de Von Roll per a piròlisi

1.2.5.3. Descripció del procés.

El procés es divideix en les següents etapes:

- Piròlisi.
- Fusió.
- Vitrificació d'escòries.
- Recuperació energètica.
- Depuració de gasos.

Piròlisi.

La piròlisi és la primera etapa del procés tèrmic, i es produeix en una graella de moviment alternatiu, a una temperatura de l'ordre de 500°C. La calor requerida per al procés s'aconsegueix mitjançant la combustió parcial del gas de piròlisi amb oxigen.

Com a resultat del procés s'obté un gas de síntesi, i un coc de piròlisi. Ambdós productes s'introdueixen a la cambra de fusió.

Fusió.

A la cambra de fusió els productes procedents del forn piròlisi estan sotmesos a temperatures properes als 1400°C, aconseguides mitjançant injeccions d'oxigen, necessàries per a la fusió de tots els residus sòlids.

L'oxigen s'injecta tangencialment al forn, el qual genera una rotació al bany d'escòries foses creant una turbulència, assegurant la barreja entre el combustible i els residus, i per tant, l'oxidació total d'aquests. L'ús d'oxigen, per altra banda, redueix el volum de gasos formats.

Vitrificació d'escòries.

L'escòria fusió s'envia al reactor de tractament d'escòries escalfat mitjançant un cremador de fuel-oil / oxigen.

Al reactor es concentren i es separen els metalls pesants de les escòries foses, obtenint-se una al·leació de coure i ferro que pot ser emprada a indústries metal·lúrgiques. Per altra banda, els metalls pesants volàtils (zinc, cadmi i plom) s'evaporen mentre que l'escòria residual restant es pelletitza i pot usar-se com a additiu en ciments.

El gas de procés procedent de la unitat de tractament d'escòria, que conté metalls pesants volàtils, es barreja amb el gas procedent del forn de fusió per al seu tractament posterior.

Recuperació energètica.

Els gasos de combustió procedents del forn de fusió i del reactor de tractament d'escòries es cremen en una caldera de llit fluïditzat circulant, a temperatures inferiors als 1.000°C, en presència d'oxigen per a assegurar l'oxidació completa de les espècies orgàniques.

A la sortida de la caldera, els gasos s'introdueixen en un cicló, a on es separen del material de llit present en ells per l'efecte de l'arrossegat. Una vegada nets, els gasos passen a una caldera de vapor convencional a on s'utilitzen per a generar vapor per a la producció de calor i/o electricitat.

Depuració de gasos.

Els gasos de combustió procedents de la caldera, s'introdueixen en el sistema de depuració de gasos, el qual fonamentalment consta d'un sistema de control d'emissió de partícules i un equip de rentat de gasos àcids.

1.2.5.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
	– L'excedent energètic és inferior al que es genera en un procés d'incineració. – No disposa de cap planta en operació. L'única referència de piròlisi va deixar d'estar operativa l'any 2005.

1.2.5.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA per a cada tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 10,5 MJ/kg	
Entrades	kg
Oxigen	790
Cal	4
Gas-oil	5
Additiu (neteja de gasos)	6
Grafit / carbó actiu	4

Sorra	10
Sortides reciclables	
Escòries	205
Coure / al.leació de ferro	6
Sortides no reciclables	5
Llots de metalls pesants	18
Altres residus sòlids	48

Font: VON ROLL

Taula 13: Balanç de matèria del procés RCP de Von Roll

BALANÇ D'ENERGIA		
Entrades	MW	%
Gasos de combustió	53,7	100
Sortides		
Condensació	31,5	58,7
Tractament d'escòries	4,1	7,6
Producció d'oxigen	4,2	7,8
Excedent d'energia elèctrica	5,9	11

Font: VON ROLL

Taula 14: Balanç d'energia del procés RCP de Von Roll

1.2.5.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/dia)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1996 – 2005 (no està operatiu en l'actualitat)	Bremerhaven, Alemanya	144	RM

Font: VON ROLL

Taula 15: Referències de Von Roll en plantes de piròlisi.

1.2.6. **WASTEGEN.**

1.2.6.1. Introducció.

WasteGen és una companyia anglesa dedicada al disseny i construcció de plantes de recuperació de materials i d'energia, combinant piròlisi amb reciclatge i compost.

Actualment les seves activitats es centren en:

– Aplicacions de:

- Bio-fuel, plantes de biogàs.
- Projectes de valorització energètica de residus.
- Gasificació i piròlisi.
- Aprofitament de residus de fusta.

– Equipament per a:

- Digestors anaeròbics.
- Gasificadors.

– Serveis:

- Consultoria.
- Contractació i I+D.
- Disseny.
- Estudis mediambientals.
- Direcció de projectes.

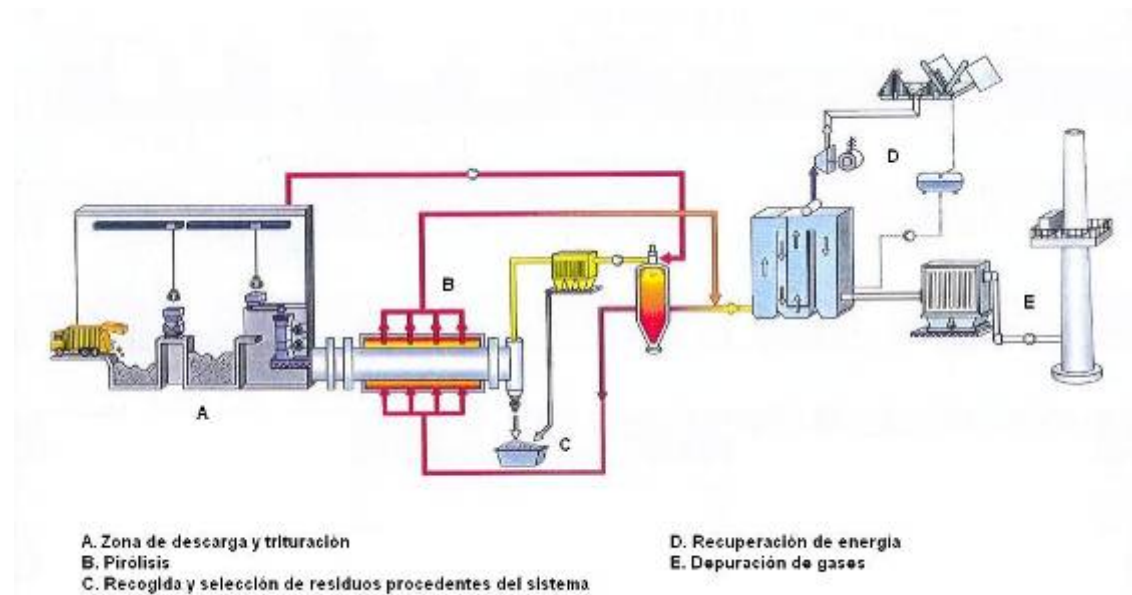


Font: WASTEGEN

Figura 22: Planta de procés de Burgau, Alemanya.

1.2.6.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés està basat en una piròlisi realitzada en un forn tubular escalfat externament (*heated tube*), seguit d'una cambra de combustió a altes temperatures.



Font: WASTEGEN

Figura 23: Diagrama de procés

1.2.6.3. Descripció del procés.

El procés es divideix en les següents etapes:

- Recepció de residus.
- Tractament tèrmic.
- Tractament del residu sòlid de piròlisi.
- Recuperació energètica.
- Depuració de gasos de combustió.

Recepció de residus.

Els residus es descarreguen en una fossa, la capacitat de la qual és suficient per a una setmana. Mitjançant un pont-grua, els residus s'introdueixen a les trituradores, on redueixen la seva grandària de partícula a un màxim de 300 mm.

Una vegada triturats, s'introdueixen en el forn de piròlisi mitjançant un sistema d'alimentació que consta de:

- Tremuja d'alimentació.
- Fossa de caiguda amb doble clapeta per a assegurar l'estanquitat i l'absència de O₂.

- Cargol d'alimentació.

Tractament tèrmic.

El forn de piròlisi és un forn rotatiu amb una camisa de metall, per la qual circulen els gasos de combustió procedents de la cambra de combustió, la temperatura d'entrada de la qual s'estableix entre 1.200°C i 1.300°C, i la temperatura de sortida és d'aproximadament 650°C. D'aquesta manera s'aconsegueix obtenir una temperatura a l'interior del forn 550°C.

A aquesta temperatura, en absència d'oxigen i durant un temps de residència dels residus de típicament 1 hora (encara que poden variar entre 30 minuts i 2 hores) es produeix la piròlisi dels residus, rendint un gas pirolític i un residu sòlid. Aquest últim s'extreu del forn per al seu tractament posterior.

Per altra banda, el gas de piròlisi passa a través d'un cicló, a on s'elimina la major part de pols present arrossegada al gas i es recull i emmagatzema a una sitja. A continuació, el gas s'introdueix en una cambra de combustió, en excés d'aire, a una temperatura de 1.250°C. Aquesta etapa produeix gasos de combustió, dels quals una part es recirculen per a escalfar el forn de piròlisi i l'altre s'introdueix a la caldera de vapor.

Tractament del residu sòlid de piròlisi

El residu sòlid generat al forn de piròlisi, s'introdueix en un bany d'aigua per al seu refredament. A més s'evita l'entrada d'aire al forn de piròlisi, ja que aquest bany actua com un segell hidràulic.

El residu sòlid obtingut es compon fonamentalment de carbó, minerals, vidre i metalls, degut a que no es realitza selecció alguna de residus a l'entrada de la planta. Per a poder recuperar els metalls, es realitza una separació magnètica prèvia. Aquesta fracció es pot reciclar com a ferralla. La resta dels residus s'envien a un abocador controlat ubicat en una zona annexa a la planta.

Recuperació energètica.

Els gasos de combustió generats a la cambra, s'introdueixen a la caldera, a on generen vapor. Una part d'aquest vapor s'utilitza en una turbina de vapor, per a generar fins 2,2 MW d'electricitat. El vapor no utilitzat s'empra en un hivernacle annex, també a la planta.

Depuració de gasos de combustió

Els gasos de combustió procedents de la caldera entren a un filtre de mànigues, a on elimina les partícules sòlides. Una vegada depurat, el gas s'envia a una xemeneia de 30 metres d'alçada, mitjançant un ventilador de tir induït.

1.2.6.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
- La planta de Burgau posseeix molts anys d'experiència operativa.	- Disposen d'un nombre de referències molt limitat (2).

1.2.6.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA DEL FORN PIROLÍTIC per a cada tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 8 MJ/kg	
Entrades	kg
RM	1.000
Aire	3.500
Cal	10 – 20
Bicarbonat sòdic	4 – 5
Carbó actiu	5 – 6
Sortides	
Material inert	240
Coc	64
Materials fèrrics	16
Sals residuals i cendres	5 – 6

Font: WASTEGEN

Taula 16: Balanç de masses per al procés de Wastegen

Alguns paràmetres característics del procés de Wastegen, a la planta de Burgau (Alemanya) són:

- Capacitat de la fossa de recepció 600 t
- Potència elèctrica instal·lada 800 kW

- Consum elèctric 400 – 500 kW
- Generació energia elèctrica 300 kWh /t_{residu}

1.2.6.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/any)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1986	Burgau, Alemanya	35.000	RM, residus industrials, llots de depuradora
2000	Hamm-Uentrop, Alemanya	100.000	RM, residus industrials

Font: WASTEGEN

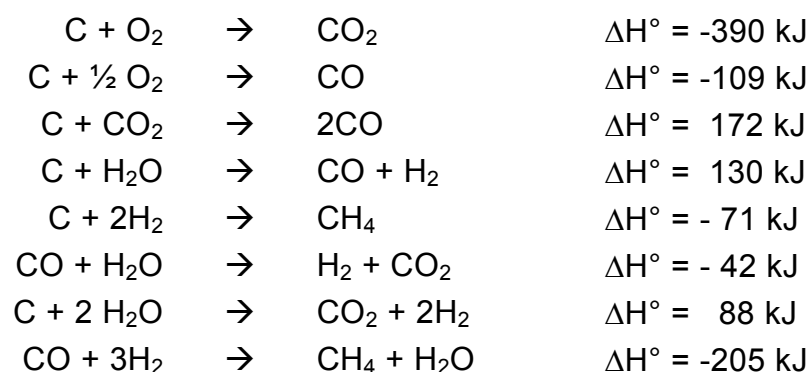
Taula 17: Referències de plantes de piròlisi de Wastegen

1.3. Tecnologies de gasificació.

La gasificació és un procés d'oxidació parcial de la matèria, en presència de quantitats d'oxigen inferiors a les requerides estequiomètricament.

En termes generals, les característiques per al procés de gasificació d'una corrent de residus són les següents:

- S'utilitza aire, oxigen o vapor com a font d'oxigen, i en ocasions com a portador en l'eliminació dels productes de reacció.
- La temperatura de treball és típicament superior als 750°C.
- Les reaccions químiques produïdes en aquest procés són de dos tipus:
 - De cracking molecular: la temperatura provoca el trencament dels enllaços moleculars més dèbils originant molècules de menor grandària, generalment hidrocarburs volàtils.
 - De reformat de gasos: aquestes reaccions són específiques dels processos de gasificació i en elles sovint intervé el vapor d'aigua com a reactiu.
- Les reaccions principals en el procés de gasificació, són:



- Com a resultat del procés de gasificació s'obté un:
 - Gas, denominat gas de síntesi, compostat principalment per monòxid de carboni, hidrogen, diòxid de carboni, nitrogen (si s'empra aire com a gasificant) i metà en menor proporció. Com a productes secundaris es troben quitrans, compostos halogenats i partícules.
 - Residu sòlid, compostat per materials no combustibles i inerts presents al residu alimentat; generalment conté part del carboni sense gasificar. Les característiques d'aquest residu són similars a les escòries dels forns a les plantes d'incineració.
- La quantitat, composició i poder calorífic dels gasos procedents de la gasificació dependrà de la composició dels residus, de la temperatura i de les quantitats d'aire i vapor utilitzades. A manera d'exemple:
 - Si s'utilitza oxigen, el PCI típic del gas de síntesi varia entre 10 i 15 MJ/Nm³
 - Si s'utilitza aire, el PCI típic del gas de síntesi varia entre 4 i 10 MJ/Nm³⁶

El gas de síntesi obtingut al procés de gasificació té potencialment diversos usos:

- Com a matèria prima per a la producció de compostos orgànics, com la síntesi directa de metanol, amoníac, o per a la seva transformació en hidrogen mitjançant el reformat amb vapor o el reformat catalític.
- Com a combustible als processos de producció d'energia elèctrica mitjançant cicles tèrmics diferents als de vapor d'aigua, ja siguin cicles combinats o simples, en turbines de gas o motors de combustió interna.
- Com a combustibles en calderes tradicionals o en forns.

1.3.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.

1.3.1.1. Pretractaments i característiques dels residus.

Alguns processos de gasificació tenen limitacions molt específiques en el tipus d'alimentació que poden processar, pel qual no tots els residus són aptes per a aquest tractament.

- S'ha de reduir al màxim la fracció d'inerts tals com materials de construcció, vidre, etc. i eliminar els residus molt humits, i assecar, com part del procés de pretractament, aquelles fraccions més humides contingudes als residus. En el seu defecte, es provocaria la formació de gran quantitat de quitrans, al disminuir el rendiment de la reacció de gasificació.
- Així mateix, cal destacar que la presència de volàtils als residus, també provoca un augment en la quantitat de quitrans formats durant la condensació del gas cru de reacció, ja que al volatilitzar-se amb rapidesa no permeten que doni lloc al *cracking* molecular.
- S'han d'eliminar aquells residus molt voluminosos i triturar la resta, de manera que posseeixin una grandària de partícula en un rang d'entre 80 i 300 mm. Una grandària de partícula reduïda facilita els mecanismes de transferència de calor i redueix la quantitat de carboni residual en les escòries.
- Els residus han de contenir la quantitat de carboni suficient per què es pugui portar a terme les reaccions descrites anteriorment, reduint així l'aparició de productes secundaris. Alguns tecnòlegs afegeixen carbó o coc als residus a gasificar, per a assegurar l'esmentada proporció.
- La presència de substàncies perilloses als residus provoca la necessitat d'un sistema de depuració del gas cru de reacció més exigent, degut a que durant el procés de gasificació, una part de les substàncies perilloses s'haurà recombinat i l'altra no s'haurà destruït, romanent en el gas de síntesi.

Si es desitja arribar a un rendiment energètic elevat, que solament pugui ser obtingut per cicles combinats, seria necessari utilitzar residus amb un elevat PCI. Per exemple, (CSR⁷ d'alta qualitat), havent-se d'estudiar si el balanç global és favorable i si és necessari un consum addicional d'energia.

⁶ Com a referència, el PCI del gas natural és d'uns 38 MJ/Nm³

⁷ Combustible Sòlid Recuperat

1.3.1.2. Gasificadors.

El procés de gasificació es porta a terme al gasificador, a on el carboni present en els residus és transformat en gas de síntesi per al seu posterior aprofitament.

Els principals tipus de reactors de gasificació són:

- Gasificadors de llit fix: flux a contracorrent o *updraft* o flux en paral·lel o *downdraft*.
- Gasificadors de llit fluïditzat: bombollejant, circulat o de flux arrossegat.

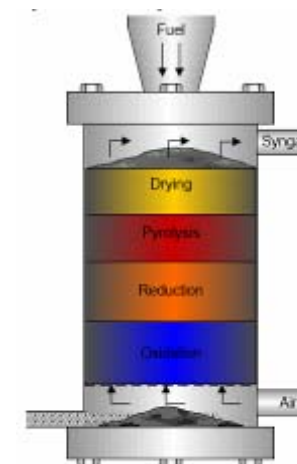
A continuació s'expliquen amb major detall.

1.3.1.2.1. *Llit fix.*

Els gasificadors de llit fix poden tenir una disposició tant vertical com horitzontal. Al seu interior, i a mesura que augmenta la temperatura, es donen varies etapes: l'assecat dels residus, l'evaporació dels compostos volàtils, la piròlisi i per últim, la gasificació. Les distintes configuracions de disseny es presenten a continuació.

- Flux en paral·lel o *downdraft*:

Conegut també com a *downdraft*, en el que el gas és introduït des de la part superior o mitja del reactor, de manera que ambdós fluxos, el de residus i el de gas, tenen el mateix sentit de flux. La calor es transmet des de les capes inferiors mitjançant radiació i conducció, amb lo que garanteix una estratificació de les temperatures, produint-se les diferents etapes de reacció. Aquest fet provoca que es necessiti un temps de residència molt elevat, per a assegurar una conversió total del residu en gas de síntesi.



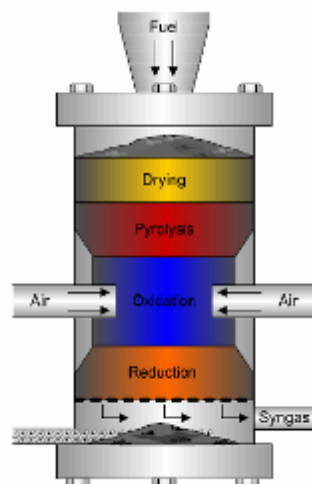
Font: Initial Review and Evaluation of Process Technologies and Systems Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels, 2005.

Figura 24: Gasificador *downdraft*.

El gas de síntesi surt del reactor a una temperatura entre 700°C i 800°C, el que provoca una pèrdua energètica, ja que aquesta calor no es recupera. Per altra banda, degut a aquesta temperatura relativament elevada, es redueix la quantitat de quitrans formats així com la quantitat de cendres arrossegades, facilitant d'aquesta manera la posterior depuració del gas cru.

- Flux a contracorrent o *updraft*:

Conegut també com *updraft*, es diferencia de l'anterior per l'entrada del gas, que es realitza per la part inferior, i la recollida del gas cru, que es porta a terme per la part superior, la qual al creuar en sentit oposat al flux dels residus, transfereix calor a aquests produint-se les etapes de reacció. A la sortida, s'obté un gas de síntesi a una temperatura d'entre 300°C i 400°C, lo que afavoreix la formació de quitrans que provoca una major complexitat en la depuració posterior del gas cru, a excepció de que s'emprin per a la seva combustió directa.



Font: Initial Review and Evaluation of Process Technologies and Systems Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels, 2005

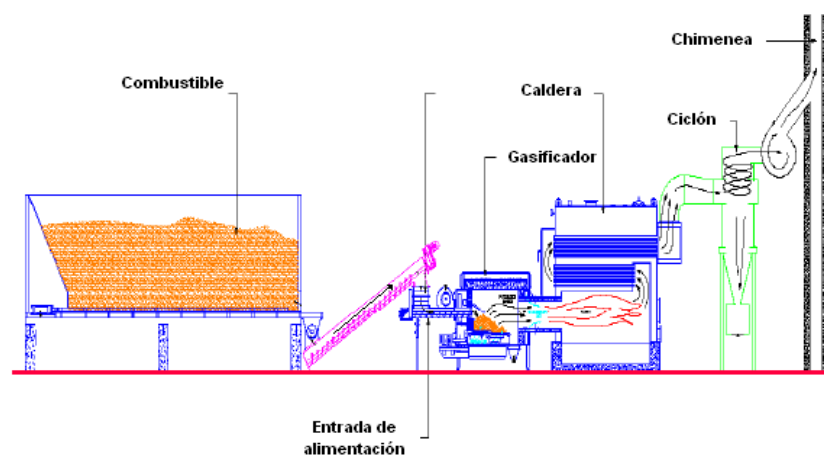
Figura 25: Gasificador *updraft*.

– Gasificadors de graella:

Aquests gasificadors (classificats en algunes fonts com a gasificadors de llit mòbil), són similars al sistema d'incineració de graella, amb la diferència de que es produeix una oxidació parcial en lloc d'una combustió completa.

En aquest sistema l'alimentació entra per un lateral i al llarg de la graella mòbil, travessa les zones del reactor a on es donen les diverses etapes fins a descarregar en l'altre extrem.

Els moviments dels residus al llarg de la graella es facilita per la inclinació i l'acció d'aquesta. L'aire de combustió s'introdueix a través d'obertures en la graella.



Font: Anàlisi i estat de l'art de les tecnologies emergents de valorització de residus sòlids urbans, 2006

Figura 26: Gasificador de graella

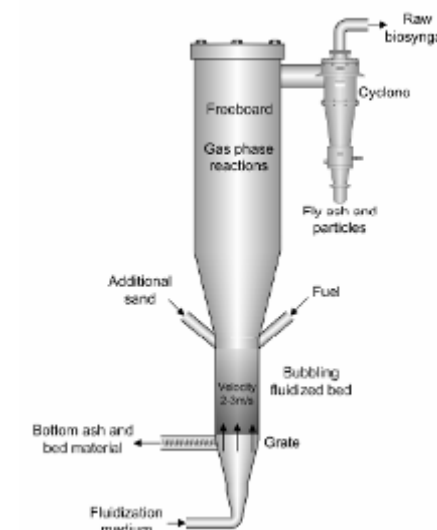
1.3.1.2.2. Llit fluiditzat.

En aquest tipus de reactors, cilíndrics i verticals, els residus s'introdueixen per la part superior, i se suspenden en un llit fluïditzat turbulent de sorra calent. Per aconseguir aquesta fluïdització, s'ha d'introduir prèviament el gas per a la reacció, per la part inferior del llit de partícules. Durant el procés, es manté una temperatura de treball d'entre 700 i 900°C.

Els reactors de llit fluïditzat es poden subdividir en els següents tipus, classificats segons el grau d'expansió del seu llit de sorra.

– Llit bombollejant:

La velocitat del gas utilitzada és relativament baixa (la velocitat mitja del gas a la secció transversal és de l'entorn de 1,5 m/s), amb lo que l'expansió del llit és relativament baixa i les partícules que conformen el llit romanen a l'interior del reactor.

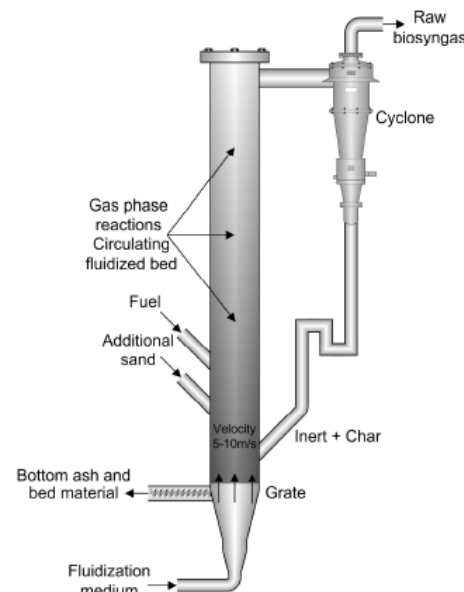


Font: Initial Review and Evaluation of Process Technologies and Systems Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels, 2005.

Figura 27: Gasificador de llit fluïditzat bombollejant.

– Llit circulat:

La velocitat del gas és considerablement major (superior a 5 m/s), amb el que es produeix una expansió completa del llit, la qual s'estén a la totalitat del reactor. Es produeix així un arrossegament del llit que provoca que s'hagi de separar del gas i per a recircular-ho al reactor.



Font: Initial Review and Evaluation of Process Technologies and Systems Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels, 2005

Figura 28: Gasificador de llit fluïditzat circulant.

– Llit retintut:

La velocitat del gas és intermitja a la dels casos anteriors, per lo que s'aconsegueix una expansió del llit sense arribar a provocar un arrossegament d'aquest. L'extracció del material del llit i de les cendres es realitza periòdicament i de forma simultània al subministrament de material de llit nou o reutilitzat. La freqüència amb la que es realitza aquesta renovació depèn directament de la composició dels residus entrants.

Els gasificadors de llit fluïditzat presenten avantatges respecte als de llit fix:

- Accepten residus amb un alt contingut en cendres, i són més flexibles en termes d'humitat, grandària de partícules dels residus, poder calorífic, densitat i contingut en sofre.
- Permet un millor control de temperatura del llit, amb elevades velocitats de reacció.
- S'obtenen elevades conversions de carboni, especialment en metà, per l'alta i homogènia temperatura del llit, encara que les pèrdues de carboni a les escòries poden ser elevades.

No obstant això, presenten diversos inconvenients, com per exemple l'alt contingut d'impureses en el gas de síntesi, per l'arrossegament de cendres, carboni i material de llit, especialment en els de llit circulant, o la sinterització del llit de sorra (especialment als llits

bombollejants) per presència de residus amb baix punt de fusió (amb metalls alcalins) o amb partícules molt pesades.

La tecnologia del llit fluïditzat està molt provada en altres aplicacions com la combustió de la biomassa i carbó polvoritzat. En general, les plantes de llits fluïditzats són més adequades per a tractar CDR que RM.

A continuació es presenta una selecció dels principals tecnòlegs de gasificació.

Cal comentar que la majoria del tecnòlegs presentats posseeixen únicament referències a Japó. Això respon a que cap de les instal·lacions japoneses en funcionament està orientada a la producció de gas de síntesi, aplicable a motors tèrmics o cicles combinats, si no que produeixen escòries vitrificades, fet que respon a les exigències mediambientals japoneses.

1.3.2. COMPACT POWER.

1.3.2.1. Introducció.

Compact Power, empresa establerta a Anglaterra, des de l'any 1992 dissenya i subministra plantes per al tractament tèrmic de residus. L'any 1994 va realitzar la seva primera planta pilot per al tractament de residus, i a l'any 2000 va construir la seva primera planta industrial de Avonmouth, (Anglaterra).

L'any 2001, Compact Power va rebre l'autorització ambiental (IPPC) per a la planta de Avonmouth.



Font: Compact Power

Figura 29: Planta de Avonmouth, Anglaterra.

1.3.2.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés de Compact Power és un sistema integrat per piròlisi en dos forns tubulars en paral·lel escalfats externament, gasificació en llit fix i combustió a altres temperatures, incloent recuperació tèrmica de la energia alliberada en el procés i depuració de gasos.

A continuació es presenta un esquema del procés.

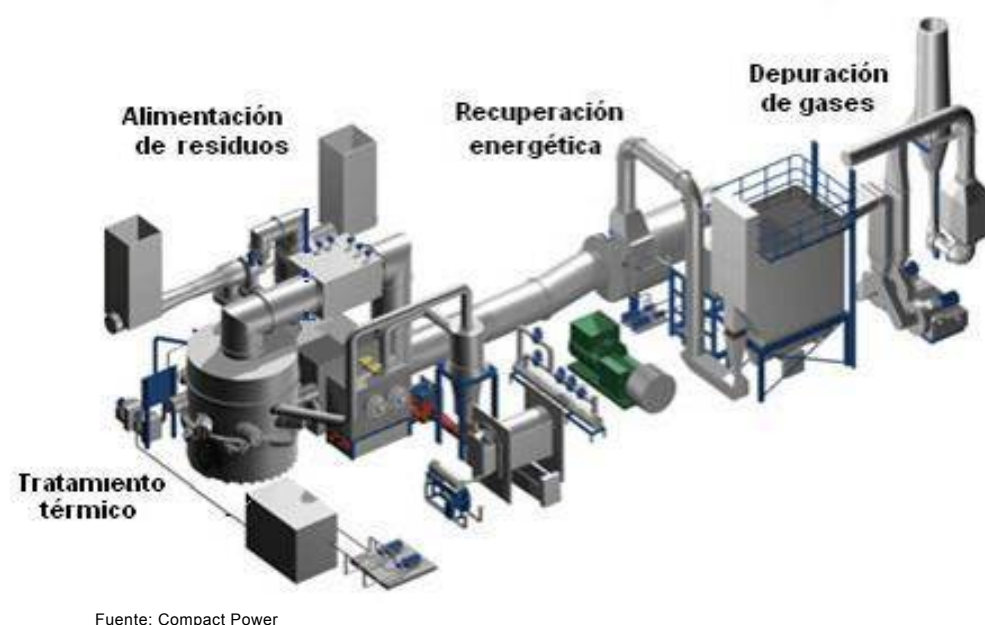


Figura 30: Esquema de procés de Compact Power

1.3.2.3. Descripció del procés.

El procés està format per les següents etapes:

- Alimentació de residus i pretractament.
- Tractament tèrmic: piròlisi, gasificació, combustió.
- Recuperació energètica.
- Depuració de gasos de combustió.

Alimentació de residus i pretractament.

Es realitza un pretractament dels residus, separant els materials fèrrics mitjançant separació magnètica, i triturant-los a una grandària de partícula màxima de 75 mm. Una vegada triturats, els residus s'introdueixen en la unitat de piròlisi.

Tractament tèrmic

Els residus s'introdueixen als forns tubulars en paral·lel escalfats indirectament per gasos calents recirculats de l'etapa de combustió, a on té lloc la piròlisi.

Els forns de piròlisi estan dissenyats per a:

- Capacitats superiors a 500 kg/h de residus.
- Treballar en absència d'oxigen a una temperatura de 800°C, la qual és relativament alta per a un procés pirolític de residus.
- Permetre un temps de residència de 30 minuts.

En aquesta etapa s'obtenen com a productes de reacció: gasos, quitrans i residus parcialment carbonitzats. Tots ells s'introdueixen al gasificador de llit fix, a on reaccionen amb vapor i aire, reduint-se així el contingut de carboni en les escòries procedents de la piròlisi.

El temps de residència dels residus a l'interior del gasificador és d'uns 30 minuts.

El gas de síntesi de la unitat de gasificació, la composició de la qual és fonamentalment una barreja d'hidrogen i monòxid de carboni amb vapor, nitrogen i CO₂, es barreja amb el gas de piròlisi. Ambdós s'envien a la unitat de combustió.

A la cambra de combustió, els gasos es cremen amb fuel-oil amb presència d'aire en quantitat tal que hagi un 8% d'excés d'oxigen, a una temperatura de 1.250°C i un temps de residència del gas de almenys 2 segons, per a assegurar la destrucció dels gasos contaminants.

Recuperació energètica.

Els gasos de combustió es divideixen en dos corrents, de manera que una d'elles s'empra per a subministrar calor a l'etapa de piròlisi, i l'altre es barreja amb els gasos de combustió calents i s'introdueix a la caldera de recuperació de calor. Allà, els gasos es refreden fins a una temperatura de 200°C a la sortida de la mateixa, i el vapor generat es pot utilitzar tant per usos de procés com per alimentar el turbogenerador per a la producció d'energia.

Depuració de gasos de combustió.

Els gasos de combustió procedents de la caldera es sotmeten a un tractament de depuració, consistent en un sistema sec, amb bicarbonat sòdic per al control d'emissions de gasos àcids, un filtre de mànigues i una Reducció Catalítica Selectiva (SCR) amb amoníac per al control de les emissions de NO_x.

1.3.2.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
A Anglaterra es presenta com una alternativa, de moment a petita escala, a la incineració per al tractament de RM.	- Posseeix escassa experiència, i una única referència en tot el món. - El procés no admet residus municipals, estant dissenyat per als següents residus: - Farmacèutics i hospitalaris. - Peril·losos.

1.3.2.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA per tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 10 MJ/kg	
Entrades	kg
Fuel-oil	1,8
Bicarbonat sòdic	11
Carbó actiu	No especificat
Sortides reciclables	
Metalls fèrrics	No especificat
Sortides no reciclables	
Cendres en fons de reactor	260
Residus de neteja de gasos de combustió	14

Font: Technical and economic assessment of energy conversion technologies for MSW, 2002.

Taula 18: Balanç de matèria simplificat per al procés Compact Power

1.3.2.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/any)	Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
2001	Avonmouth, Anglaterra	5500	2,5	Farmacèutics, hospitalaris i

				peril·losos
--	--	--	--	-------------

Font: Compact Power

Taula 19: Referències de plantes de gasificació de Compact Power

1.3.3. **EBARA.**

1.3.3.1. Introducció.

Ebara és una empresa establerta al Japó des de l'any 1920, i amb filials a Europa i Estats Units. Treballa en diversos sectors, com disseny i desenvolupament de maquinària de precisió (ozonitzadors, scrubbers, etc.), maquinària de fluids (turbines, bombes, compressors, etc.) i disseny i desenvolupament d'instal·lacions destinades a tractament de residus i aigües residuals.

L'any 1995 va crear la seva primera planta pilot de tecnologia de gasificació, basada en la incineració de llit fluïditzat bombollejant amb circulació interna, tractant fins 300 kg/h de residus, però no de forma continuada.

L'any 1997 va construir una segona planta a Fujisawa, (Japó) dissenyada per a treballar en continu amb capacitat per a 20 t/dia. Després de ser provada amb residus industrials i CDR, va ser autoritzada pel govern de Japó, amb lo que es va començar la seva instal·lació comercial l'any 2000.



Font: EBARA

Figura 31: Planta de Fujisawa, Japó

1.3.3.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés està basat en un gasificador de llit fluiditzat, seguit d'una cambra ciclònica de fusió de cendres, segons el diagrama de procés següent:

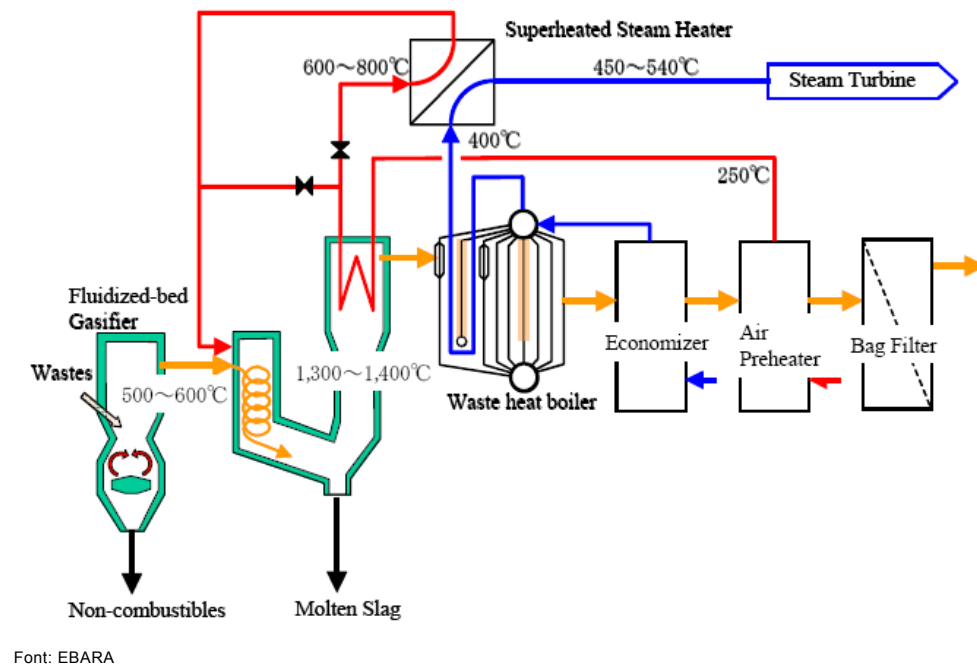


Figura 32: Diagrama de procés de gasificació d'Ebara

1.3.3.3. Descripció del procés.

El procés d'Ebara TwinRec, consta de les següents etapes:

- Pretractament de residus.
- Tractament tèrmic.
- Recuperació energètica.

Pretractament de residus

La trituració és l'únic tractament previ aplicat als residus a l'entrada del gasificador, requerint-se una grandària de partícula inferior a 300 mm.

Tractament tèrmic

A continuació, els residus s'introdueixen en el gasificador de llit fluiditzat circulant, que opera a una temperatura establerta entre els 550 i 600°C. Aquest marge de temperatures facilita la

recuperació de metalls continguts a les escòries, ja que ni s'han oxidat ni sinteritzat, essent les condicions de procés fàcilment controlables.

De les escòries produïdes, es poden recuperar els metalls com l'alumini, coure o ferro, a més de les partícules inerts grans. La resta es reintrodueix al gasificador, per a actuar de material de llit.

Per altra banda, els gasos i partícules carbonoses produïdes, s'introdueixen a la cambra ciclònica de fusió de cendres, a on es tracten a temperatures d'entre 1350-1450°C, mitjançant l'addició d'aire secundari suficient per a assegurar l'oxidació completa. En aquesta etapa, les partícules fines es recullen a les parets, a on es vitrifiquen i circulen lentament a través del forn.

L'escòria fusió es refreda en un bany d'aigua, formant-se un granulat resistent a la lixiviació, complint amb les regulacions per al seu reciclat. L'alta temperatura de combustió permet que les emissions de dioxines no superi els 0,1 ng TEQ/Nm³, complint així mateix, amb els mínims establerts en el control de les emissions.

Tant el gasificador com la cambra de fusió operen en condicions atmosfèriques sense consum de combustibles fòssils o oxigen.

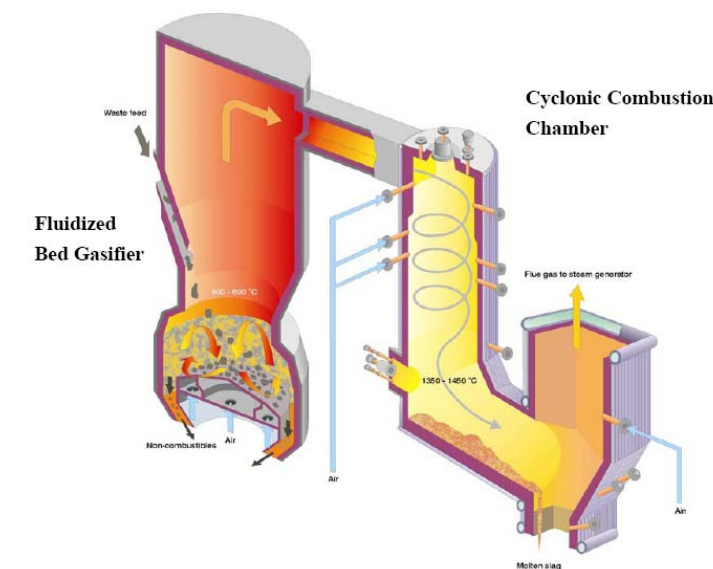


Figura 33: Gasificador del procés TwinRec d'Ebara

Recuperació energètica

Gràcies a la baixa quantitat de gasos procedents de l'etapa de combustió, es requereix una caldera de vapor i una única unitat de depuració de gasos de reduïdes dimensions. L'energia continguda als gasos de combustió es converteix en electricitat i/o calor.

1.3.3.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Posseeix una àmplia experiència i nombroses referències al Japó.	– El procés no busca una producció de gas de síntesi per a la seva exportació comercial, si no la producció d'un residu sòlid vitrificat per a la seva comercialització a plantes cimenteres.

1.3.3.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA per tona de RM tractat	
Entrades	kg
Cal	40 – 60
Sortides reciclables	
Gas de síntesi	550
Pols amb <6% en metalls (reutilitzable al procés)	55 – 80
Pols	60 – 80
Sortides no reciclables	
Escòries	190 – 210
No combustibles	105 – 165
Metalls	43 - 59

Font: Handling heavy metal contaminated waste and evaluation of energy recovery technologies, 2003

Taula 20: Balanç de matèria per al "Twin Internally revolving Fluidized bed Gasifier" d'Ebara

1.3.3.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament		Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
		Nº línies	(t/d)		
2002	Kawaguchi, Japó	3	140	21	RM
2002	Ube City, Japó	3	66	9,5	RM

Any	Ubicació	Capacitat de tractament		Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
		Nº línies	(t/d)		
2003	Chuno Union Japó	3	56	7,3	RM
2003	Minami-shinshu wide area union Japó	2	46,5	4,5	RM
2004	Nagareyama City Japó	3	69	9,3	RM
Maig 2006	Kuala Lumpur Indonèsia	5	300	33,3	RM
Agost 2006	Tokyo Rinkai Japó	2	275	-	RM
Abril 2007	Hino City Japó	3	60	5,2	RM

Font: Ebara

Taula 21: Referències de plantes per al procés "Twin Internally revolving Fluidized bed Gasifier", Ebara

1.3.4. ENERGOS.

1.3.4.1. Introducció.

Energos, empresa ubicada a Anglaterra, es dedica al sector energètic, desenvolupant des de l'any 1984 projectes de cogeneració energètica i posteriorment projectes d'energies renovables i projectes per a l'obtenció d'energia a partir dels residus. Respecte a això últim, els seus projectes s'han desenvolupat al nord d'Europa majoritàriament, concretament Noruega, i disposen d'una referència a Alemanya.



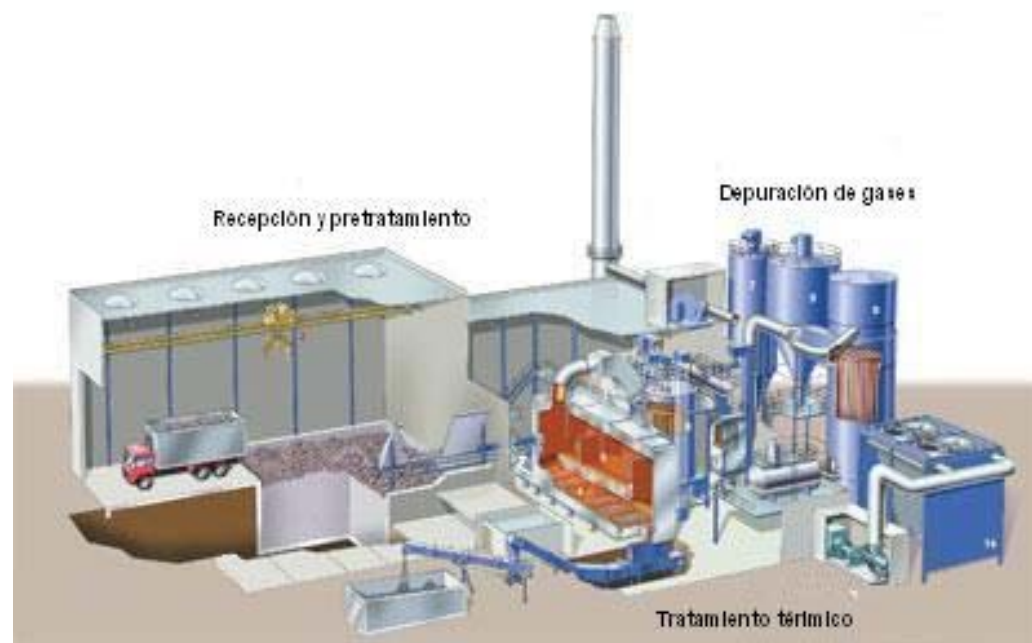
Font: Energos

Figura 34: Planta de Forus, Noruega

1.3.4.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés consisteix en una gasificació en un reactor de graella, seguida d'una combustió total a altes temperatures.

A continuació es mostra un esquema d'una instal·lació d'Energos.



Font: Energos

Figura 35: Esquema de procés de tractament tèrmic d'Energos.

1.3.4.3. Descripció del procés.

El procés Energos consta de:

- Sistema de transport i emmagatzematge de combustible.
- Tractament tèrmic.
- Caldera de recuperació de calor de gasos de combustió.
- Sistema de depuració de gasos de combustió.
- Sistema de control i monitorització.

Sistema de transport i emmagatzematge de combustible.

Els residus tractats en aquest procés, s'han de triturar i separar magnèticament els metalls continguts en ells. A continuació, s'introdueixen en una fossa tancada en depressió per a controlar l'emissió d'olors al exterior.

Finalment, es transporten els residus a la unitat de gasificació, mitjançant un pont-grúa.

Tractament tèrmic.

El tractament tèrmic es porta a terme en dues etapes:

- *Unitat de gasificació:* consta d'un gasificador de graella refrigerada per oli tèrmic, a on tenen lloc les reaccions d'assecat, piròlisi i gasificació dels residus en condicions subestequiomètriques d'oxigen. La graella està dividida en diverses seccions, a través de les quals es subministra aire primari als residus. Per a poder controlar l'espessor dels residus, s'empra una guillotina de refrigeració hidràulica. Per últim, s'utilitzen raspadors hidràulics refrigerats per aigua per al control del transport de residus al llarg de la graella. Les escòries es recullen a la sortida de la graella.
- *Unitat d'oxidació a altes temperatures:* a on es produeix l'etapa de combustió dels productes de sortida de la unitat de gasificació, gràcies a l'injecció d'aire.

Caldera de recuperació de calor de gasos de combustió (HRSG)

La caldera, situada a la sortida de la unitat d'oxidació a altes temperatures, recupera l'energia dels gasos de combustió produïts a la sortida d'aquesta. La caldera està equipada amb un tanc d'alimentació d'aigua, bombes d'alimentació d'aigua i instal·lacions per la neteja de les superfícies de transferència de calor durant l'operació.

Sistema de depuració de gasos de combustió.

Situat a la sortida de la caldera, està equipat amb un filtre de mànigues, una sitja d'emmagatzematge de cal i carbó actiu i una sitja per a la pols recollida al filtre. La cal i el carbó actiu s'injecten a l'entrada del filtre de mànigues, la cal absorbeix els components àcids dels gasos de combustió, mentre que el carbó actiu adsorbeix les dioxines, COT i metalls pesants.

Sistema de control i monitorització.

El sistema està dissenyat per a controlar i monitoritzar punts remots de la planta, així com controlar les emissions de partícules, CO, HCl, Hg, COT, SO₂, NO_x.

1.3.4.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Disposa d'un nombre significatiu de referències.	– El procés no busca una producció de gas de síntesi per a la seva utilització comercial en cicles tèrmics eficients, si no la producció d'un residu sòlid vitrificat per a la seva comercialització a plantes cimenteres.

1.3.4.5. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/any)	Potència (GWh/any)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1997	Ranheim, Noruega	10.000	25	Residus comercials i industrials
2000	Averøy, Noruega	34.000	65	RM
2001	Hurum, Noruega	36.000	90	RM i residus industrials
2001	Minden, Alemanya	37.000	100	Residus industrials i comercials
2002	Forus, Noruega	38.000	100	RM
2002	Sarpsborg, Noruega	75.000	190	RM i residus industrials

Font: Energos

Taula 22: Referències de plantes per al procés de gasificació d'Energos.

1.3.5. **ENERKEM / NOVERA.**

1.3.5.1. Introducció.

Enerkem Technologies, filial de Kemestrie Inc., es va fundar l'any 1992 com a resultat de la investigació de projectes realitzats en la Universitat de Sherbrooke (Quebec, Canada).

Des de principis dels anys 80, Enerkem ha desenvolupat la seva tecnologia de gasificació amb el recolzament financer del govern de Canadà i Québec.

Environmental International Engineering (EIE), companyia espanyola que des de l'any 2005 va ser absorbida per Garo Engineering S.L., posseeix la llicència d'aquesta tecnologia, per diversos països incloent Espanya, França, Itàlia, Regne Unit i Llatinoamerica, a excepció de Cuba, Mèxic i Puerto Rico. EIE va començar a finals del 2000 la implementació a Espanya de la tecnologia de Enerkem en plantes a petita escala de recuperació energètica a partir de residus.



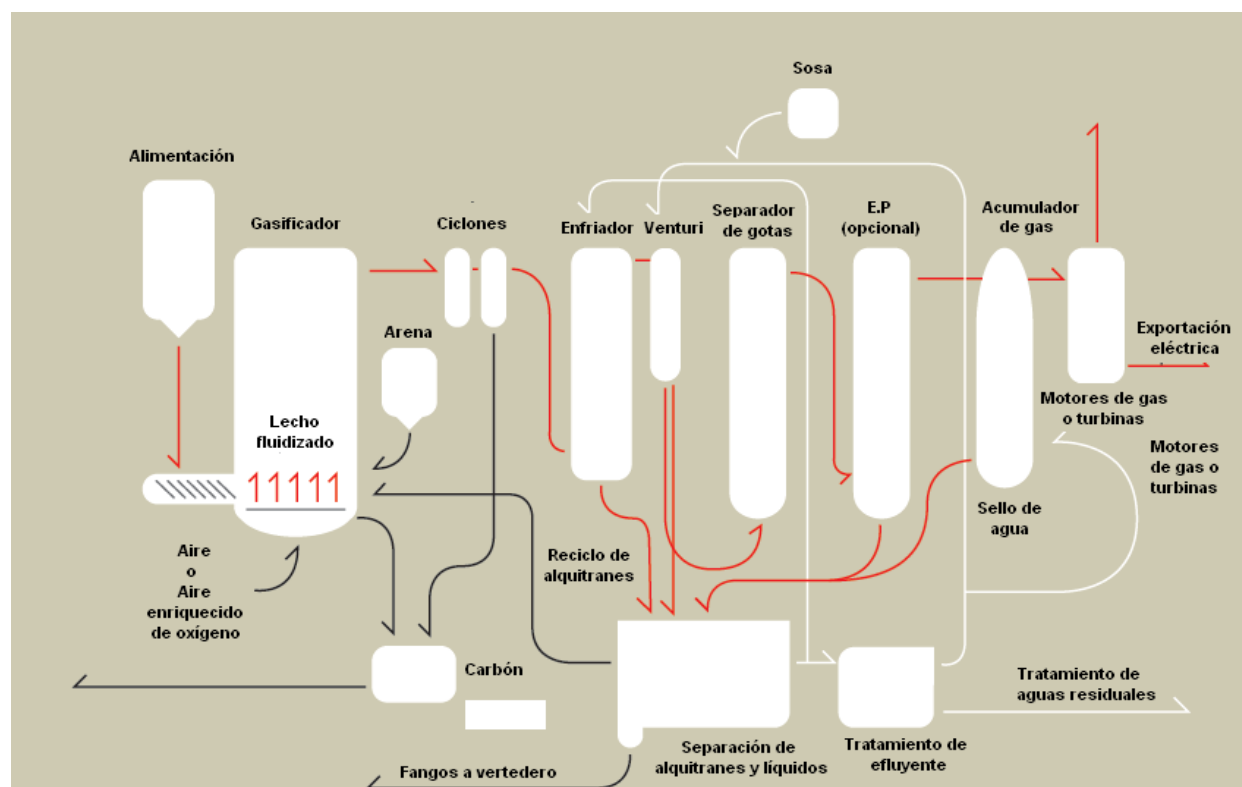
Font: ENERKEM

Figura 36: Planta de gasificació de plàstics de Ribesalbes, Espanya.

1.3.5.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés es basa en dos gasificadors de llit fluïditzat bombollejant i un sistema de depuració de gasos mitjançant cicló i scrubber.

A continuació es presenta el diagrama del procés.



Font: ENERKEM

Figura 37: Diagrama de procés de gasificació d'Enerkem

1.3.5.3. Descripció del procés.

El procés consta de les següents etapes:

- Pretractament.
- Gasificació.
- Recuperació energètica.
- Depuració de gasos.

Pretractament.

El residu es tritura fins aconseguir una grandària de partícula de 50 mm. i es barreja per a la seva homogeneïtzació. A més, depenent de la humitat dels residus d'entrada, pot ser necessari el seu assecat ja que la seva humitat no ha de superar el 20% a l'entrada del reactor. La densitat del residu alimentat ha de ser típicament superior a 0,2 kg/l.

Gasificació.

Una vegada finalitzat el pretractament, els residus s'envien al gasificador mitjançant un cargol refrigerat amb aigua, i s'introdueixen en una secció del llit fluiditzat en presència de sílice o alumina (utilitzades com a material de llit fluiditzant).

L'injecció de les quantitats requerides de l'agent gasificant (aire, aire enriquit d'oxigen o oxigen pur), a través d'un sistema de distribució localitzat en fons del llit, permet la fluidització. La quantitat d'agent gasificant depèn de la composició orgànica dels residus; sovintment s'empra un 30% de la quantitat estequiomètrica requerida en la combustió dels residus. La temperatura del reactor varia entre 700°C i 900°C depenent de les característiques fisico-químiques dels residus, així com de la composició desitjada del gas de síntesi. El temps de residència és d'uns pocs segons.

La composició del gas de síntesi obtingut, també varia segons l'agent gasificant injectat al gasificador. El gas de síntesi resultant d'aquesta etapa està compost de N₂ (55% quan l'aire és agent fluiditzant, a l'entorn del 30% amb aire enriquit d'oxigen o 40% si es oxigen pur), CO₂ (del 16% al 30% del volum) CO (del 12% al 30% del volum), H₂ (del 2% al 10% del volum) i un menor percentatge de quitrans.

Recuperació energètica.

L'eficiència energètica del procés de gasificació, utilitzant un scrubber humit és típicament entre el 70 i el 72%. Les variables determinants del rendiment energètic del procés són la composició de l'alimentació i la seva humitat.

La utilització de gas de síntesi per a la generació elèctrica es podria realitzar mitjançant turbines de vapor.

Depuració de gasos.

Les partícules sòlides arrossegades amb el gas de síntesi es retiren mitjançant un sistema de ciclons amb una eficàcia de captura d'entre el 85 i el 95%. A la sortida dels ciclons, el gas de síntesi presenta una temperatura elevada (> 600°C) i el procés ofereix dos opcions per al seu refredament.

- Una tercera etapa de sistema de rentat (scrubbing) per a la neteja del gas de síntesi fred.
- Un sistema de filtració calent i conversió catalítica per al seu ús en turbines de gas.

1.3.5.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
	– Únicament posseeix dos referències, de les quals l'única que tracta RM està a escala de planta de demostració.

1.3.5.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

Generalment, i emprant aire com agent fluïditzant, el procés genera aproximadament 2 Nm³ de gas de síntesi per kg de biomassa seca alimentada, i 4 Nm³ per kg de plàstics (p.e. polietilè).

1.3.5.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament	Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
2002 (a partir d'aquest any treballa amb residus aportats per la ciutat de Sherbrooke)	Universit� de Sherbrooke, Canadà	2,5 t/dia	----	RM
2000	Ribesalbes (Castell�), Espanya	25.000 t/any	7	Residus plàstics procedents de la indústria cer�mica

Font: ENERKEM

Taula 23: Referències de plantes del procés de gasificació d'Energem.

1.3.6. **NIPPON STEEL.**

1.3.6.1. Introducció.

Nippon Steel Engineering Co., Ltd., és una companyia japonesa, dedicada al disseny i construcció de:

- Plantes industrials i maquinaria:
 - Plantes de producció d'acer, instal acions de recuperació d'energia, etc.

– Projectes i instal acions mediambientals:

- Forns de fusió de residus, centres de reciclatge, instal acions per a tractar substàncies perilloses i substàncies de difícil tractament, depuració d'aigües subterrànies, operació i manteniment d'instal acions de tractament de residus, etc.

– Instal acions energètiques, enginyeria civil i construcció marina:

- Instal acions per a la producció i/o síntesi d'oli i gas, instal acions energètiques, marines i portuàries, ponts, projectes de subministrament d'energia, etc.

– Canonades:

- Instal acions de xarxes de distribució i subministrament d'aigua, etc.

– Construcció d'edificis i estructures d'acer.

Disposa de filials distribuïdes a nivell mundial: Europa, Nord i Sud Am rica, Àsia i Oceania, encara que a on compta amb major presència  s al Japó.



Font: NIPPON STEEL

Figura 38: Planta d'Akita, Japó

1.3.6.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés consta d'una primera etapa que engloba piròlisi i gasificació, i que té lloc en un forn vertical de llit fix. A continuació es porta a terme una etapa de combustió a altes temperatures, en el cas del gas cru produït al forn, o una etapa de fusió, en el cas del residu sòlid produït en aquest.

A continuació es mostra el diagrama del procés.

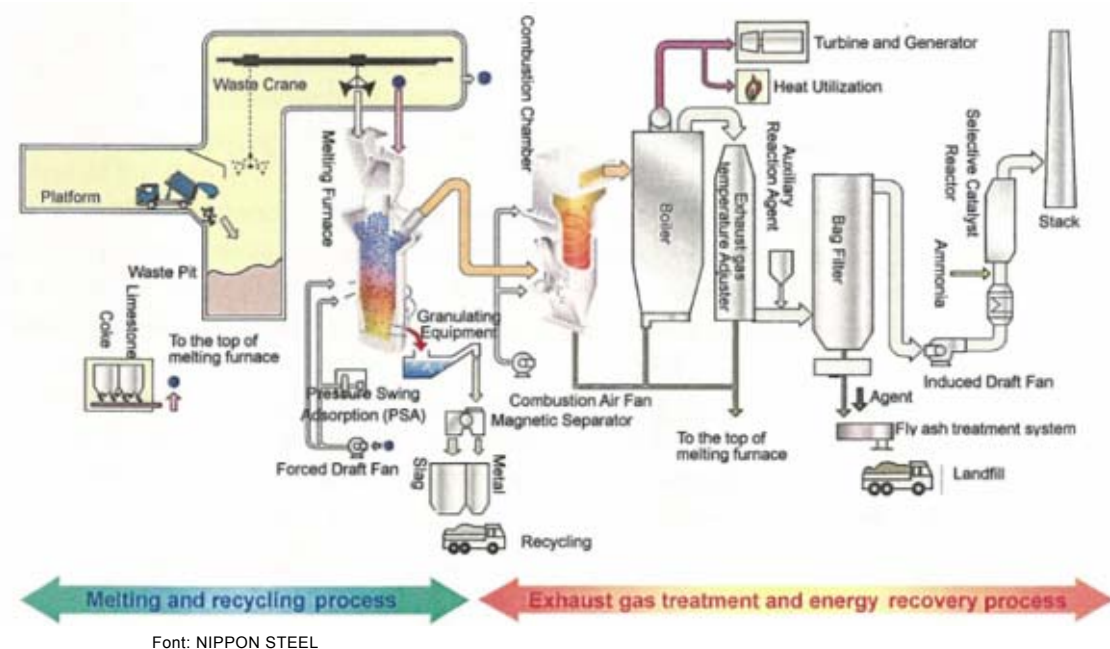


Figura 39: Diagrama de procés de tractament tèrmic de Nippon Steel

1.3.6.3. Descripció del procés.

Els residus, triturats prèviament, s'introdueixen al forn de llit fix juntament amb coc i cal. Durant el seu descens a través del forn, els residus s'assequen i pirolitzen, arribant a una temperatura de l'entorn dels 1000°C.

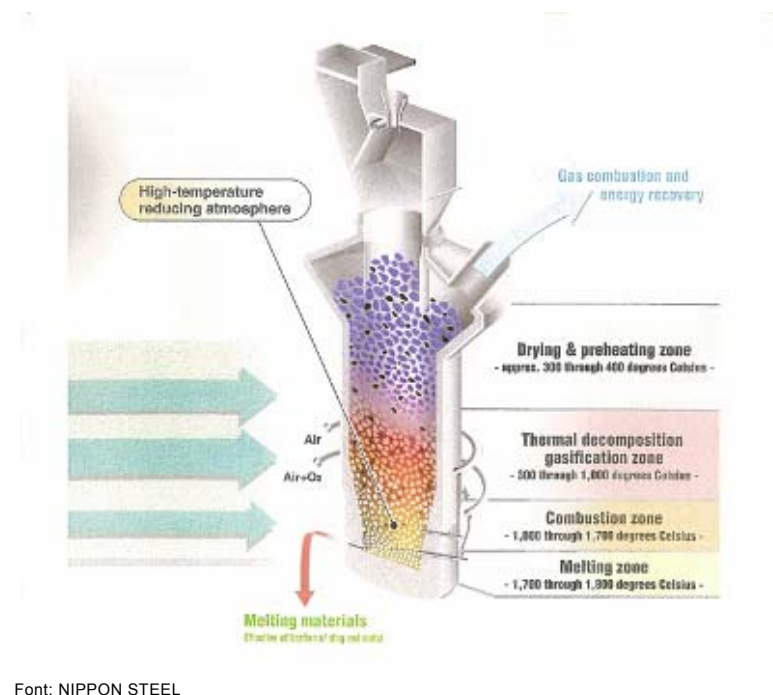


Figura 40: Secció del forn de llit fix de Nippon Steel.

S'introdueix oxigen per fons, i el coc i la fracció de gas piròlisi a l'entrar en contacte amb aquest, es cremen i produeixen altes temperatures necessàries tant per la fusió de cendres com per a aportar calor suficient per al procés de piròlisi que té lloc al forn.



Figura 41: Zona de tractament tèrmic, planta d'Akita (Japó).

Els components inorgànics i metàl·lics presents als residus tractats, es fonen en fons del forn. En aquest moment, l'escòria, sotmesa a aproximadament 1.500°C, es refreda en aigua. El producte sòlid resultant és una escòria granulada, en la que es pot separar magnèticament per una part en una al·leació metàl·lica rica en ferro i per l'altre una escòria inorgànica granulada.

L'excés de gas pirolític produït al forn, es tracta mitjançant un sistema d'eliminació de partícules i seguidament es crema en un forn de combustió. Els gasos de combustió surten del forn a una temperatura situada en un rang entre 800 i 900°C, i passa a través de la caldera de recuperació de calor dels gasos de combustió, la qual genera vapor per a generació calorífica i elèctrica.

A la sortida de la caldera, els gasos de combustió estan a l'entorn de 200°C, i es tracten amb un sistema de depuració de gasos convencional previ a la seva emissió per la xemeneia.

Les cendres residuals procedents de la cambra de combustió i de la caldera s'humidifiquen, pelletitzen i es reintrodueixen al forn de llit fix. Les cendres volants i altres sòlids residuals obtinguts a l'equip de depuració de gasos, es tracten i s'envien a abocador controlat.

1.3.6.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Posseeix nombroses referències i experiència en gasificació.	– El procés no busca una producció de gas de síntesi per a la seva exportació comercial, si no la producció d'un residu sòlid vitrificat per a la seva comercialització a plantes cimenteres.

1.3.6.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA per tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 8.5 MJ/kg	
Entrades	kg
Oxigen	No especificat
Cal	50
Coc	40 – 50
Sortides reciclables	
Escòries granulades	90
Al·leació rica en ferro	10
Sortides no reciclables	
Cendres en suspensió a l'interior del reactor	30

Font: Technical and economic assessment of energy conversion Technologies for MSW, 2002

Taula 24: Balanç de matèria simplificat per al procés Nippon Steel

1.3.6.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament		Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
		Línies	Per línia (t/d)		
1979	Kamaishi City, Iwate Pref., Japó	2	50	N.A.	RM, gas CFC
1980	Ibaraki City, Osaka Pref., Japó	3	150	3,2	RM, gas CFC
1996		2	150	5,0	
1999		1	150	2,8	
1997	Hyogo Pref. Japó	2	60	1,1	RM
1997	Kaagawa Pref. Japó	2	65	1,6	RM, residus d'incineradora
2002		1	65	1,1	
1998	Iizuka City, Fukuoka Pref., Japó	2	90	1,2	RM, llots de depuradora
2000	Fukuoka Pref., Japó	2	100	3	RM, llots de depuradores, gas CFC, residus d'incineradora
2000	Kameyama City, Mie Pref., Japó	2	40	1,25	RM, residus d'abocador controlat
2002	Akita City, Akita Pref., Japó	2	200	8,5	RM, llots, residus d'incineradora
2002	Maki Town, Niigata Pref. Japó	2	60	1,5	RM, llots, residus d'abocador controlat, gas CFC
2002	Chiba Pref., Japó	2	100	3	RM, llots residus d'incineradora
2002	Takizawa Village, Iwate Pref., Japó	2	50	1,2	RM
2002	Narashino City, Chiba Pref. Japó	3	67	2,4	RM, llots
2002	Kochi Pref., Japó	2	70	1,8	RM, llots
2003	Tajimi City Gifu Pref., Japó	2	85	1,990	RM, llots
2003	Aichi Pref., Japó	2	65	1,85	RM, residus d'incineradora, llots
2003	Oita City, Oita Pref., Japó	3	129	9,5	RM, llots
2003	Fukuoka Pref., Japó	2	80	2,4	RM, llots
2005	Fukuoka Pref., Japó	2	160	13,6	Residus

Any	Ubicació	Capacitat de tractament		Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
		Línies	Per línia (t/d)		
					industrials, automòbil
2006	Shizuoka Pref., Japó	2	74	1,990	RM, Ilots
2006	Chiba Pref., Japó	2	74	5	RM, Ilots

Font: NIPPON STEEL

Taula 25: Referències de plantes piròlisi-gasificació de Nippon Steel

1.3.7. SVZ

1.3.7.1. Introducció.

Sekundärrohstoff-Verwertungs-Zentrum Schwarze Pumpe (SVZ) és una empresa alemanya desenvolupada originalment com un complex industrial de refí de carbó. A partir del 1995, SVZ s'independitza i desenvolupa la seva pròpia àrea específica de negocis dedicada al tractament de residus sòlids i líquids.

La planta de SVZ tracta més de 1.500.000 tones anuals de residus sòlids de diferents tipus, incloent plàstics, llots de depuradores, fusta contaminada, materials triturats i residus domèstics pretractats. Per altra banda, tracten més de 1.200.000 tones anuals de residus líquids com olis contaminats o emulsions d'oli i aigua.

Des de finals de l'any 1997, posseeixen una capacitat de procés propera a les 400.000 tones de residus sòlids i 50.000 tones d'oli contaminant i emulsions d'aigua-oli.

No obstant, encara que posseeixen aquesta instal·lació, SVZ no és un tecnòleg amb pretensions de comercialitzar el seu procés, si no un complex basat en un aprofitament de l'antiga instal·lació de refí de carbó.



Font: SVZ

Figura 42: Vista del complex industrial de Schwarze Pumpe, Alemanya

1.3.7.2. Descripció general de la tecnologia.

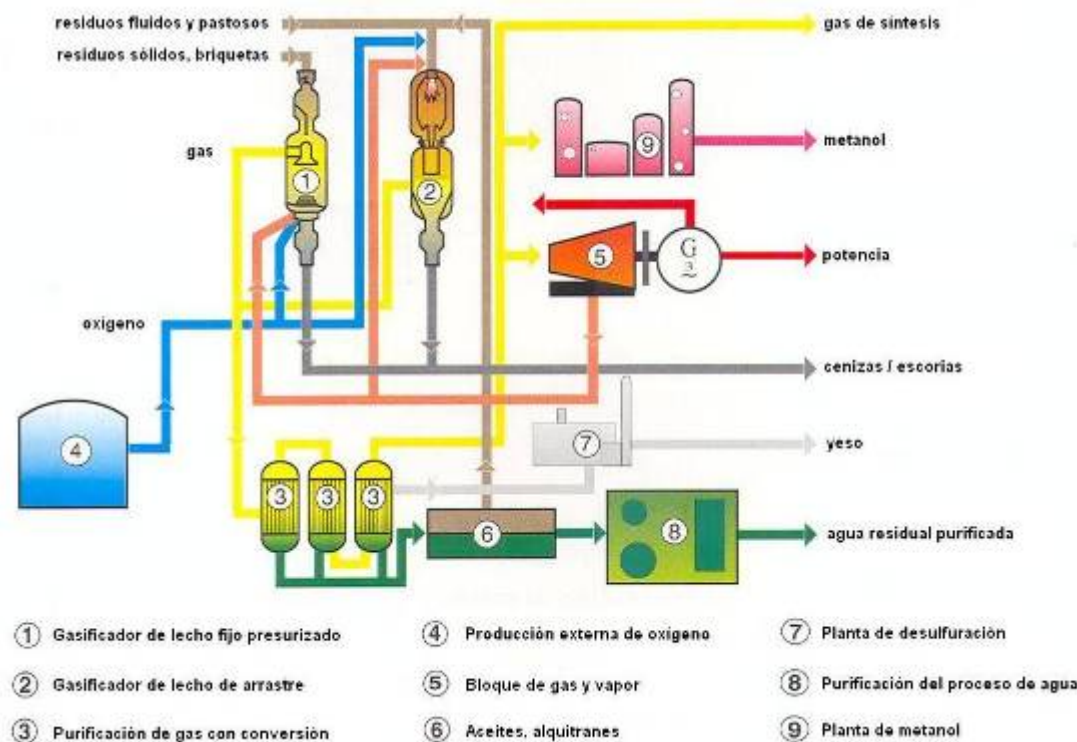
El procés es basa en una gasificació en un reactor de llit fix a 25 bar, en defecte d'oxigen (0,5 sobre l'estequiomètric) i amb addició de vapor d'aigua. El gas de síntesi produït es depura mitjançant un quench i un sistema d'absorció amb metanol.

Una vegada depurat, el gas de síntesi s'empra per a produir metanol, i com combustible en una turbina de gas. Les substàncies retingudes amb el metanol (H₂S, etc.) es desorbeixen i es cremen en una caldera de vapor i posteriorment es dirigeixen a una planta de dessulfuració per a produir guix.

El vapor resultant s'utilitza a una turbina de vapor.

La potència de generació instal·lada a la planta és de 80 MW dels quals 40 MW correspondrien a la turbina de gas i 40 MW a la turbina de vapor.

A continuació es presenta el diagrama de procés.



Fuente: SVZ

Figura 43: Diagrama de procés de Schwarze Pumpe

1.3.7.3. Descripció del procés.

El procés es divideix en:

- Preparació dels residus sòlids per al seu tractament.
- Gasificació.
- Tractament del gas de síntesi.
- Generació d'energia.
- Tractament del gas residual del sistema de tractament del gas de síntesi.
- Instal·lació de fraccionament d'aire.

Preparació dels residus sòlids per al seu tractament.

Els residus es tracten prèviament abans de ser introduïts al gasificador per a assegurar el correcte funcionament del procés.

El pretractament específic per a cada classe de residu es presenta a la taula següent:

Tipus de residus	Pretractament
Llots	Briquetes. Es preparen a la planta.
Fusta	Trituració. Es realitza a la planta.
Plàstics	Pellets de gran grandària (diàmetre 10-15 cm) preparats per extrusió fora i en la pròpia planta.
Fracció RESTA	Aglomerat que hauria d'elaborar-se a la pelletitzadora existent al final de la línia de preparació de material (dissenyada per Mannesmann Siefert).

La instal·lació d'extrusió existent en SVZ té dos línies, que consisteixen fonamentalment en un alimentador, un molí (que redueix la grandària de la partícula fins a 20cm), un separador magnètic, un alimentador-pulmó de cargols i un alimentador vibrant.

Gasificació.

Actualment els gasificadors estan treballant amb una barreja 15/85 (carbó/residus) però SVZ preveu anar baixant la barreja fins almenys 10/90.

En el procés, s'empren dos tipus diferents de gasificadors:

– *Gasificador de llit fix, desenvolupat per Lurgi:*

Els residus s'introdueixen al gasificador per la part superior del gasificador a través d'una càmera intermèdia. Aquesta posseeix dos comportes, una superior i una altra inferior. En el moment de carregar el residu, s'obre la comporta superior (la inferior romandrà tancada). Una vegada carregat, es tanca la comporta, es pressuritza amb nitrogen i s'obre la comporta inferior, la qual condueix directament al gasificador. Per altra banda, l'O₂ i el vapor d'aigua s'introdueixen per la part inferior.

A l'interior del gasificador, refrigerat per una camisa d'aigua, es forma un gradient de temperatures que implica la creació de zones de reacció clarament diferents. Aquestes zones es detallen a continuació (en sentit descendent al gasificador):

Zona seca	250 – 300 °C
Zona de desgasificació.....	300 – 600 °C
Zona de desgasificació d'alta temperatura	600 – 800 °C
Zona de gasificació	800 – 1.000 °C
Zona d'oxidació amb fusió de cendres	1.000 – 1.400 °C

El gas de síntesi s'extreu per la zona superior, a una temperatura d'entre 400 – 600°C. Per la seva part, les escòries s'extreuen per la zona inferior. Degut a que la temperatura

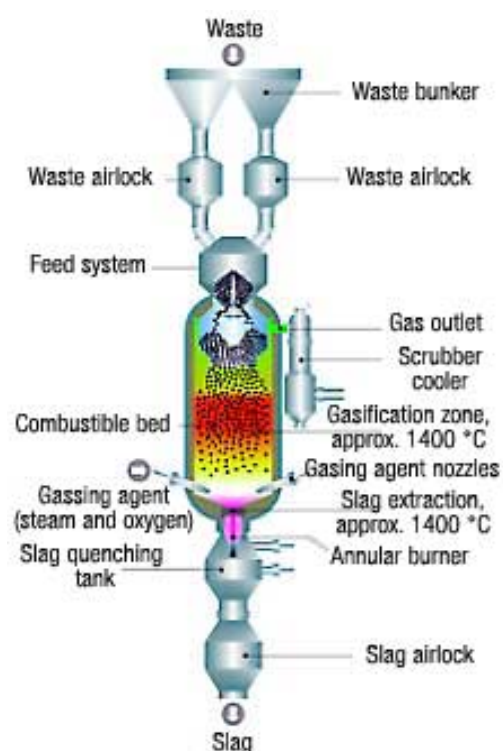
màxima de treball d'aquest gasificador és de 1.300-1.400°C, les escòries sofreixen un procés de sinterització i no de vitrificació.

En el cas que la temperatura en la sortida d'escòries no sigui suficient per a la seva fusió, s'empra un cremador en anell situat a la base del gasificador, per a tal finalitat. La monitorització de la fusió s'aconsegueix controlant que no s'obturin els injectors oxigen/vapor per a la gasificació al fons del reactor.

A més, s'afegeix carbó, juntament amb els residus, per a facilitar la gasificació, i es pot afegir cal com a fundent per a les escòries.

– *Gasificador de llit submergit, desenvolupat per British-Gas-Lurgi.*

El procés divergeix de l'anterior, solament en la forma en la que s'obtenen les escòries, ja que al arribar a temperatures màximes de 1600°C, aquestes s'extreuen líquides del gasificador, i a continuació es refreden per a obtenir-se escòries granulades i vitrificades.



Font: SVZ

Figura 44: Gasificador British-Gas-Lurgi

En ambdós processos, s'obté un gas de síntesi, la composició⁸ mitja del qual és:

	Dades en % en volum, sobre base seca						
	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	C _x H _y	N ₂	H ₂ S
Brut	45,9	20,9	10,1	15,2	2,5	5,3	0,2
Depurat	54,4	23,7	10	5,4	0,1	6,4	0,0

El gas brut s'expandeix i es refreda, produint vapor i condensant aigua i productes sòlids i líquids que es reintrodueixen al reactor. L'aigua condensada s'empra en l'apagat de l'escòria.

Els quitrans que s'obtenen en el sistema de depuració de gasos, i altres residus líquids (olis usats, etc.) es tracten en un gasificador independent (gasificador de flama) en el qual s'injecten els residus per la zona superior, juntament amb l'oxigen i gas natural, extraient el gas de síntesi per la zona inferior del mateix.

El gasificador de British Gas-Lurgi permet la recirculació de quitrans a l'interior del mateix.

Tractament del gas de síntesi.

El gas es tracta a una instal·lació d'absorció a baixa temperatura que empra metanol líquid com adsorbent, entre -55 i -65°C. Mitjançant aquest procediment, es retenen els hidrocarburs, els compostos de sofre, la pols i del 90 al 95% del diòxid de carboni del gas, de manera que el metanol es regenera per destil·lació.

Com a resultat del tractament, s'obté un gas purificat que pot utilitzar-se a la generació d'energia elèctrica i un gas (després de la seva desorció) amb un alt contingut de H₂S i diòxid de carboni. S'obtenen, a més, hidrocarburs que poden ser processats a les pròpies instal·lacions de gasificadors de líquids.

En cas d'emergència, es disposa d'una torxa per a cremar els gasos que no puguin ser tractats. Una vegada depurats els gasos de desgasificació, aquests tenen la composició indicada en la taula anterior.

Amb els gasos una vegada depurats es produeix metanol (CH₃OH) i es genera energia en una turbina de gas. Actualment, SVZ dirigeix una major quantitat de gas de síntesi a la producció de metanol ja que té un preu de venda superior al de l'energia.

Generació d'energia.

Els gasos generats al reactor i purificats posteriorment s'alimenten a una instal·lació de cicle combinat formada per una turbina de gas, una caldera de recuperació de calor i una turbina de vapor.

El cicle combinat subministra a més el vapor d'aigua necessari per a regular la temperatura del reactor de gasificació.

Tractament del gas residual del sistema de tractament del gas de síntesi.

Una part important del sofre contingut als residus passa al gas de síntesi i es concentra en la corrent de gas residual obtinguda a la planta de depuració. La dessulfuració d'aquest gas es realitza mitjançant combustió en una caldera de vapor i posterior reacció dels gasos de combustió amb hidròxid de calci. Com a resultat, s'obté una barreja de sulfat i sulfat de calci que pot oxidar-se fins a formar guix de qualitat comercial. Aquesta és la solució més econòmica en front a d'altres alternatives tals com obtenir sofre o àcid sulfúric.

Instal·lació de fraccionament d'aire.

A la planta de gasificació es consumeixen els següents gasos:

- Oxigen als reactors de gasificació.
- Nitrogen com a medi de protecció i seguretat.
- Aire comprimit per a manteniment, control i arrencada dels generadors de gas.

El subministrament d'aquests gasos pot fer-se de forma més econòmica mitjançant una instal·lació de fraccionament d'aire com auxiliar de la planta de gasificació. Aquesta instal·lació seria operada per la companyia gasista.

1.3.7.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– S'utilitza el gas de síntesi per a producció de metanol i aplicació en turbina de gas. – Encara que corrents mixtes, tracta RM, a més d'una àmplia varietat de residus degut a nombrosos gasificadors que posseeixen.	– No pretenen comercialitzar el procés. – Instal·lació molt complexa i costosa.

1.3.7.5. Rendiments del procés.

	Unitats	Valors	Observacions
Residus a tractar	t/a	270.000	Pretractats i secs
Carbó consumit	t/a	90.000	> 82% en pes de carboni
Hores de funcionament anuals	h/a	7.800	
Consum de fundent	t/a	21.000	CaO
Consum d'oxigen	Nm ³ /a	84.000.000	
Consum de vapor per a la gasificació	t/a	79.100	
Producció d'escòria	t/a	77.000	
Producció de gas brut sec	Nm ³ /a	420.000.000	
Producció de gas purificat	Nm ³ /a	357.000.000	
Poder calorífic inferior de gas purificat	kcal/Nm ³	3.000 – 3.200	
Producció d'energia elèctrica dels quals:	MW	aprox. 75	
• Turbina gas	MW	aprox. 35	
• Turbina vapor	MW	aprox. 40	

Font: SVZ

Taula 26: Dades bàsiques del procés de gasificació per a la planta de Schwarze Pumpe

1.3.7.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament	Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1995	Schwarze Pumpe, Alemanya	Plàstics: 5 t/h Fusta: 5 t/h Residus líquids: 200 t/d Residus domèstics: 20 t/h	75	Plàstics, fusta, residus líquids, RM, residus d'automòbils.

Fuente: SVZ

Taula 27: Referències de plantes de gasificació de SVZ

1.3.8. THERMOSELECT.

1.3.8.1. Introducció.

Thermoselect S.A. és una empresa establerta en Locarno (Suïssa), i dedicada al tractament tèrmic de residus. A la vegada, existeixen dos companyies, Japan Steel Engineering (japonesa) i Daewoo E&C CO (coreana), que posseeixen llicència per a aplicar la tecnologia de Thermoselect a les seves plantes industrials.

⁸ A més conté pols arrossegada del llit de residus.

La primera planta pilot de Thermoselect és de principis de la dècada dels anys 90. Posteriorment va desenvolupar la seva primera planta a escala industrial a Alemanya, aplicant des de llavors la seva tecnologia principalment al Japó.



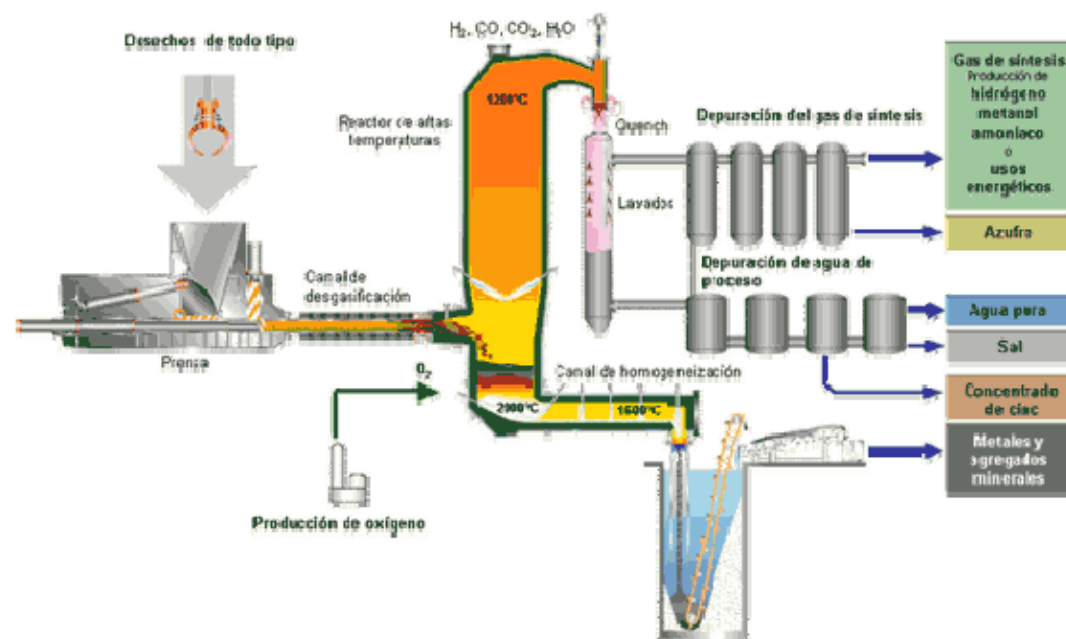
Font: THERMOSELECT

Figura 45: Planta de Karlsruhe, Alemanya

1.3.8.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés de Thermoselect consisteix en una piròlisi lenta en un reactor tubular, seguit d'una gasificació a alta temperatura, amb recuperació de cendres i metalls per fusió.

A continuació es mostra l'esquema del procés.



Font: THERMOSELECT

Figura 46: Diagrama de procés de Thermoselect.

1.3.8.3. Descripció del procés.

El procés Thermoselect es divideix en les següents etapes:

- Sistema d'alimentació.
- Gasificació de residus.
- Fusió de materials inorgànics.
- Depuració del gas de síntesi.
- Tractament d'aigua de procés.

Sistema d'alimentació.

En la primera etapa del procés, els residus es descarreguen directament en una fossa d'emmagatzemat amb capacitat per a 5 dies. Amb l'ajuda d'un pont-grua, es transporten els residus a la tremuja d'alimentació, des d'on una premsa compacta el residu o extrau el líquid contingut en ell, a la vegada que força la sortida de l'aire residual. Com a resultat, s'obtenen briquetes que s'introdueixen individualment al forn pirolític.

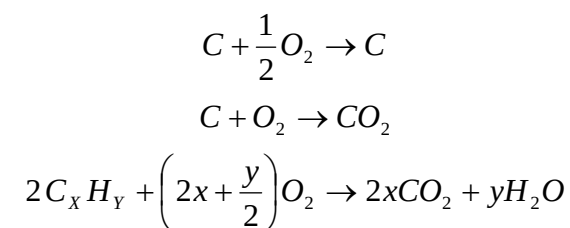
Gasificació de residus

Al forn tubular pirolític es va incrementant l'àrea transversal, gradualment, al llarg del forn, el que facilita el moviment de les briquetes de residus i el transport de gasos (evaporació d'aigua, piròlisi i gasos de síntesi) del residu a l'interior del gasificador.

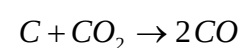
La calor radiada del gasificador inicia un assecat dels residus i un procés de descomposició al forn tubular, finalitzant a l'interior del gasificador. D'aquesta forma, les briquetes, prèviament assecatades i carbonitzades pel seu pas en el forn pirolític, s'introdueixen al gasificador, a on entra en contacte amb vapor (procedent de l'aigua continguda al residu) i oxigen pur, injectat al gasificador com agent gasificant.

Els compostos orgànics presents en el residu es transformen en un gas de síntesi amb una composició dependent de l'equilibri termodinàmic de la temperatura de cap del reactor (aproximadament 1.200°C).

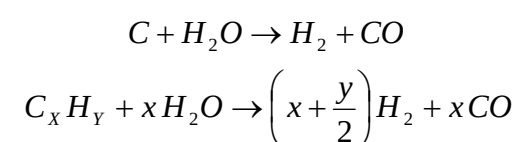
L'elevada temperatura, atmosfera lliure d'oxigen i el temps de residència (superior a 2 segons a la part superior del reactor), assegura que solament petites espècies moleculars com H_2 , CO , CO_2 y H_2O surtin del reactor com a constituents principals del gas de síntesi. La major part de les reaccions exotèrmiques es produeixen a la part superior del gasificador, que són:



Amb la reacció simultània de Boudouard, e.j.:

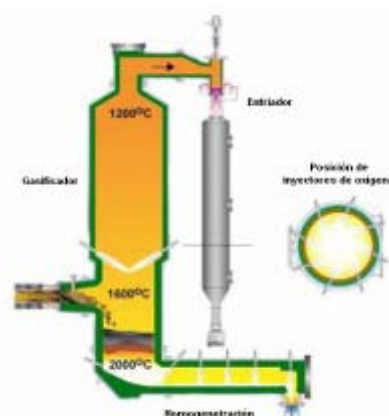


I amb la reacció endotèrmica de transformació d'aigua:



Després de la gasificació a la temperatura de sortida de 1.150 – 1.200°C, el gas de síntesi té una composició típica de:

H ₂ (% v/v)	25 – 42
CO (% v/v)	25 – 42
CO ₂ (% v/v)	10 – 25



Font: THERMOSELECT

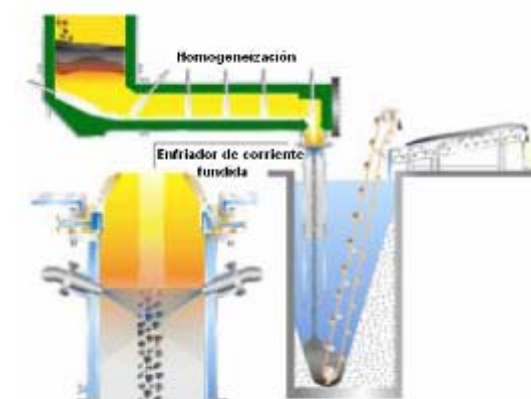
Figura 47: Gasificador de Thermoselect.

Fusió de materials inorgànics.

En la part inferior del reactor, es troben tots els metalls i minerals fosos. Els metalls més volàtils (mercuri, zinc, etc.), es volatilitzen a altes temperatures a la part inferior del reactor (superiors als 2.000°C) i s'extreuen en el gas de síntesi. Els òxids dels metalls bàsics formen un mineral fos a la part inferior del gasificador, i per altra banda es forma una al·leació de ferro, els components de la qual són: ferro (80%), níquel, coure i traces d'altres metalls pesants.

Al recollir els minerals i metalls fosos en la part d'homogeneïtzació (la qual està escalfada amb gas natural i oxigen), s'obtenen dos fases que es separen com a resultat de les diferències en la densitat relativa (3 i 7 respectivament). A més, si n'hi ha presència de carbó residual a la zona d'homogeneïtzació, aquest es sintetitza i produeix més gas de síntesi.

Les substàncies fosos es refreden amb aigua i s'obté un granulat que s'emmagatzema en una sitja. Aquests granulats posseeixen diferències en la conductivitat tèrmica del mineral i metall fos, per lo que es poden separar mitjançant separadors magnètics.



Font: THERMOSELECT

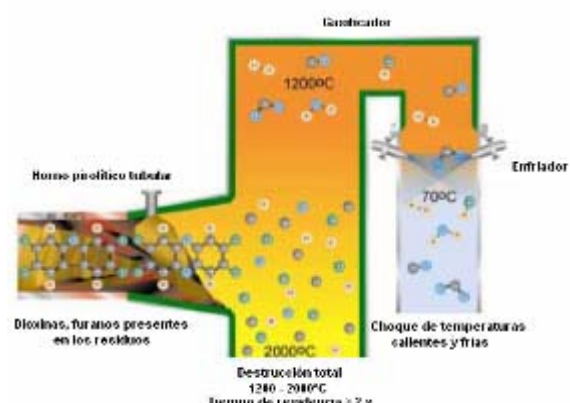
Figura 48: Ampliació de la zona de fusió de materials inorgànics de Thermoselect

Depuració del gas de síntesi.

El gas de síntesi passa a través de les etapes de refredament d'aigua, scrubber àcid, scrubber alcalí, scrubber per a eliminar les partícules fines de pols, dessulfuració i assecat de gasos.

En primer lloc, el gas de síntesi cru surt del reactor a aproximadament 1.200°C i entra en el quench, a on es refreda quasi instantàneament a l'entorn del 70°C. El xoc fred evita la formació "de Novo" de dioxines, furans i altres components orgànics de molècules elementals

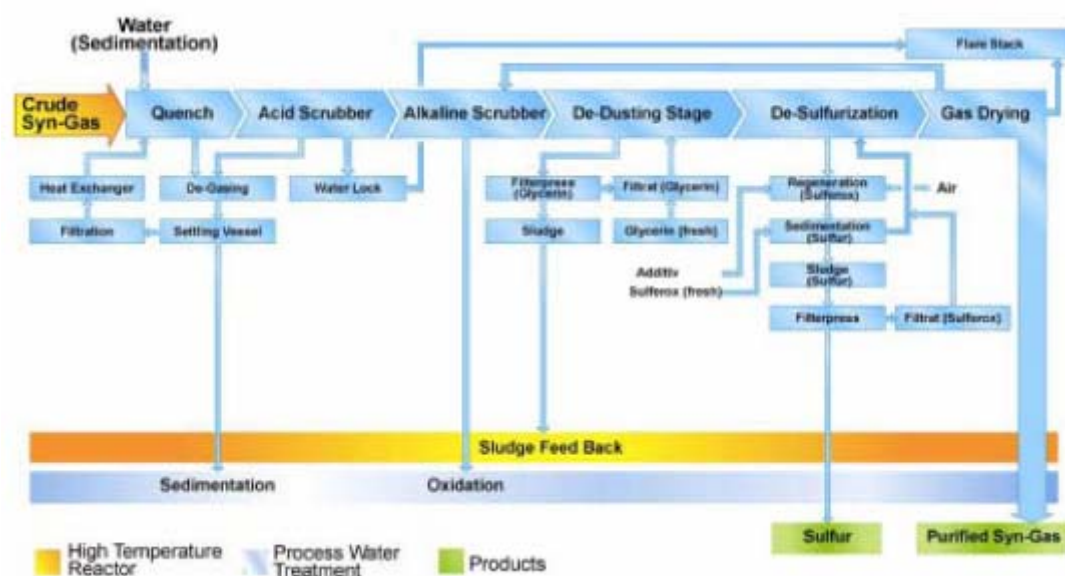
presentes en el gas de síntesi. Aquestes reaccions són les que es donen a les calderes de recuperació de calor, a on un refredament lent de 400°C a 250°C dels gasos de combustió amb components clorats, molècules orgàniques sense cremar i catalitzadors com la pols, afavoreixen la formació de dioxines. Les partícules arrossegades, com el grafit i el mineral en pols, es separen en el quench.



Font: THERMOSELECT

Figura 49: Ampliació de la zona de gasificació i del quench de Thermoselect

Després de l'etapa de refredament (quench), el gas de síntesi es condueix a un scrubber àcid a on s'eliminen la major part dels gasos àcids HCl i HF. El contingut àcid del gas, provocat per la presència dels components dissolts d'ions de metalls pesants volàtils, disminueix als scrubbers fins a un valor de pH 3. Els àcids dèbils formats com H₂S, SO₂ i CO₂ no es dissolen a aquest valor de pH.



Font: THERMOSELECT

Figura 50: Esquema de les etapes de depuració del gas de síntesi de Thermoselect

El scrubber àcid està seguit d'un scrubber alcalí (amb NaOH en solució) per a neutralitzar l'arrossegament d'àcid residual. El scrubber alcalí està seguit d'un scrubber d'aigua per a eliminar petites partícules de pols. La barreja aigua/sòlids es transfereix al sistema de filtració a on els sòlids es separen. Els sòlids es transfereixen llavors al reactor d'altres temperatures.

El gas de síntesi passa llavors a l'etapa de dessulfuració mitjançant rentat químic. La solució del rentat conté un complex de Fe³⁺ el qual s'usa per a eliminar el H₂S del gas. El procés és de tipus redox, en el qual l' H₂S s'oxida a sofre elemental i aigua per la conversió del complex de Fe³⁺ en sulfur de complex de Fe²⁺. Aquest procés de conversió té lloc a l'interior del scrubber. En la unitat de regeneració, la solució de rentat s'oxida mitjançant aire, amb la finalitat de generar novament en el complex de Fe³⁺. El sofre elemental precipita durant aquesta etapa i s'extreu mitjançant un sistema de filtració.

Després de la dessulfuració, el punt de rosada del gas descendeix per contacte directe amb trietilenglicol (TEG) en un scrubber d'assecat de gas.

Tractament d'aigua de procés.

Les aigües residuals del scrubber alcalí, que conté traces de H₂S s'alimenta a un sistema d'oxidació amb peròxid d'hidrogen. Es forma sulfat soluble, també el Fe²⁺ s'oxida a Fe³⁺, el que facilita les etapes següents de precipitació.

Es produeix una precipitació en dues etapes. En la primera etapa s'afegeix NaOH per a augmentar el pH fins a 5,5. En aquest punt l'alumini i l'hidròxid de ferro precipiten. El fang físic-químic es separa i deshidrata mitjançant filtració. Els sòlids es recirculen en el reactor d'alta temperatura.

En la segona etapa de precipitació el pH augmenta fins a prop de 9 a través d'addició de NaOH. Això causa que metalls pesants com el zinc precipitin com a hidròxids. El fang resultant es torna a deshidratar per sistemes de filtració. Com a resultat, s'obté una torta.

En la següent etapa es produeix la neutralització en la qual el pH es redueix a 7 amb l'addició d'àcid clorhídric. Posteriorment, l'aigua residual passa a través de la unitat d'intercanvi iònic. El bescanvi iònic redueix la concentració residual d'ions multivalents com el zinc i traces d'altres metalls pesants.

S'intercanvien ions metàl·lics per ions sòdics. L'efluent de regeneració del bescanviador iònic es recircula a l'etapa de precipitació. L'augment de la concentració d'ions del regenerat permetrà capturar aquests ions residuals en la subsegüent etapa de precipitació.

En l'etapa final, l'aigua residual del procés passa a través d'una unitat d'evaporació de dues etapes. L'aigua neta condensada es reutilitza en la planta. El concentrat salí s'extreu per sistema de filtració i és un subproducte del procés.

1.3.8.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Posseeix nombroses referències.	– La planta de Karlsruhe (Alemanya) va tancar l'any 2004 per no complir ni els requeriments mediambientals ni les condicions comercials. – Totes les referències operatives a escala industrial en l'actualitat es troben al Japó.

1.3.8.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA per tona de RM tractat, que contingui un poder calorífic de 10 MJ/kg	
Entrades	Kg
Oxigen	514
Gas natural	23,3
Additiu (depuració de gasos)	8,9
Additiu (depuració d'aigua)	11,1
Sortides reciclables	
Metalls	29
Producte mineral vitrificat	230
Sofre	2
Gas de síntesi net	895
Sortides no reciclables	
Llots físic-químics (metalls pesants i sals)	19,5

Font: Technical and economic assessment of energy conversion Technologies for MSW, 2002

Taula 28: Balanç de matèria simplificat per al procés Thermoselect

1.3.8.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/any)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1994 - 1999	Fondotoce, Itàlia	30.000	RM
1999 - 2004	Karlsruhe, Alemanya	225.000	RM d'alt PCI

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/any)	Tipus de residu d'entrada a la planta
2000	Chiba, Japó	100.000	RM i industrials
2003	Mutsu, Japó	45.000	RM
2005	Kurashiki, Japó	185.000	Residus industrials
2005	Nagasaki, Japó	100.000	RM
2005	Yorii, Japó	130.000	Residus industrials
2005	Tokushima, Japó	40.000	RM

Font: THERMOSELECT

Taula 29: Referències de plantes per al procés de gasificació de Thermoselect

1.3.9. **TPS TERMISKA.**

1.3.9.1. Introducció.

TPS Termiska, és una companyia sueca, la qual ha desenvolupant sistemes energètics des de mitjans de la dècada dels 80, treballant especialment en tecnologia de gasificació de llit fluïditzats, emprant biomassa vegetal (fusta, residus de la canya de sucre, etc.), lignit, coc, carbó i altres combustibles.

L'única experiència amb residus és la planta de CDR situat a Grève-in-Chianti, a prop de Florència (Itàlia).



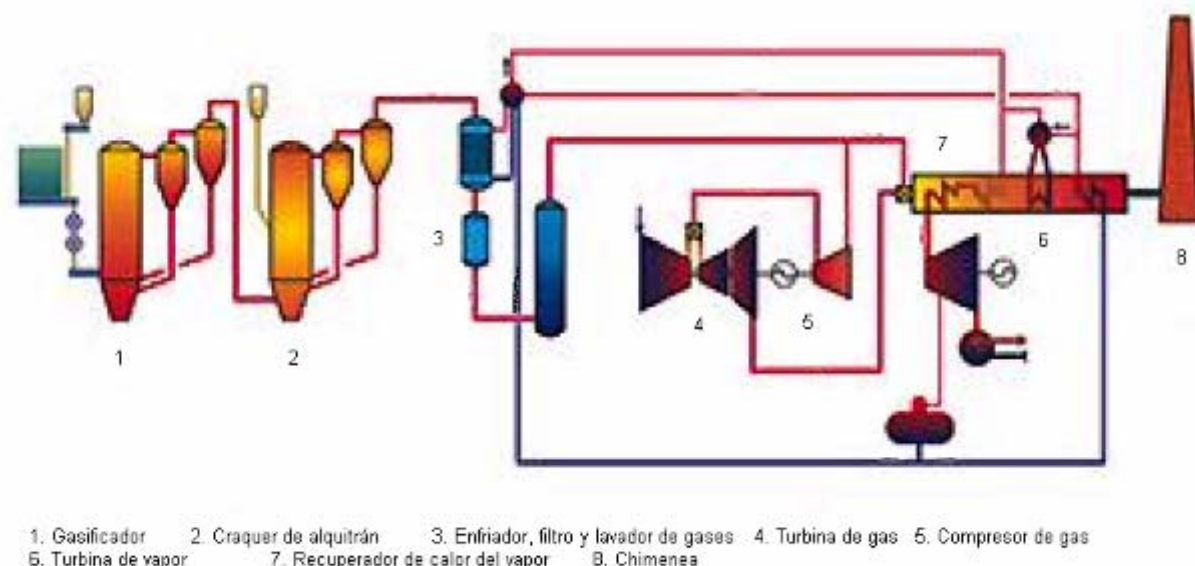
Font: TPS TERMISKA

Figura 51: Planta de Grève-in-Chianti

1.3.9.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés es basa en una gasificació en llit fluïditzat circulant, emprant aire com a agent gasificant. El gas de síntesi produït, s'utilitza per alimentar el cicle de cola de vapor amb la turbina.

A continuació es mostra el diagrama de procés.



Font: TPS TERMISKA

Figura 52: Diagrama de procés de TPS

1.3.9.3. Descripció del procés.

El procés es divideix en les següents etapes:

- Recepció de residus.
- Gasificació.
- Depuració de gas de síntesi.
- Recuperació energètica.

Recepció de residus

Els residus, en forma de briquetes o en pellets, han de complir amb les següents característiques:

Paràmetre	Unitat	Límit inferior	Límit superior
Dimensió (mm)	diàmetre	10	15
	longitud	50	150
Composició % (p/p)	H ₂ O	5	10
	Cendres	9	16
	S	0.05	0.3
	Cl	0.4	0.8
PCI	MJ/kg	16	21
	kcal/kg	3900	5500
Punt de fusió de cendres	°C	>1.150	
Metales pesants (mg/kg)	Pb	50	150
	Cr	50	200
	Cu	50	100
	Zn	200	300
	Ni	25	20
	Cd	1	2
	Hg	0.1	1

Gasificació.

La gasificació té lloc en dos reactors de llit fluïditzat circulant, els quals operen a una temperatura de treball de 875°C. En el primer d'ells té lloc la gasificació parcial dels residus, mentre que en el segon es dona el cracking dels quitrans que no s'hagin gasificat en el primer. En aquest segon gasificador, s'addiciona calcària per neutralitzar els gasos àcids procedents dels residus.

Cada gasificador disposa d'un cicló separador de pols del gas de síntesi, associat a l'arrossegament de llit i partícules generat per la velocitat del gasificant a l'interior del reactor.

Depuració de gas de síntesi.

A la sortida dels gasificadors, el gas de síntesi es refreda, i es fa circular a través d'un filtre de mànigues i un scrubber humit, amb la possibilitat d'una depuració final per a la neteja del H₂S.

Recuperació energètica.

Es disposa d'una caldera de vapor obtingut per la combustió del gas de síntesi. El vapor generat s'expansiona en una turbina de vapor.

1.3.9.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
- La seva tecnologia s'ha de tenir en compte, ja que és líder per a projectes de mitjana i gran escala, en tractament de residus de biomassa, al voltant del món.	- És un procés en estat de desenvolupament a nivell industrial amb monocombustible (CDR), del que no se disposa de dades de composició.

1.3.9.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

BALANÇ DE MATÈRIA	
Entrades	kg
CDR	16,128
Aire	42,120
Sortides reciclables	
Cendres	2,952
Gas de sortida	273,240

Font: TPS TERMISKA

Taula 30: Balanç de matèria per a la planta de Grève in Chianti

Alguns paràmetres característics del sistema de producció d'electricitat per al procés de Termiska a Grève, són els següents:

- Pressió de vapor de disseny de la turbina:
 - Entrada51 bar
 - Sortida3 bar
- Pressió del vapor a la turbina (entrada)40 bar
- Temperatura del vapor a la turbina (entrada).....74 bar
- Capacitat de flux de vapor a la turbina.....36,6 t/h
- Potència elèctrica (alternador).....6,7 MW

1.3.9.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/dia)	Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1991	Grève in Chianti, Itàlia	300	6,7	CDR

Font: TPS TERMISKA

Taula 31: Referències de plantes de gasificació per a TPS Termiska.

1.4. Tecnologies de gasificació per plasma.

El plasma és una barreja d'electrons, ions i partícules neutres, obtingut en sotmetre un gas a altes temperatures. Les característiques que defineixen aquest procés són les següents:

- La generació de plasma es realitza en fer fluir d'un gas inert a través d'un camp elèctric existent entre dos elèctrodes. Les temperatures de treball varien entre 5.000°C i 15.000°C.
- A l'interior del gas es produeixen les següents reaccions:
 - Dissociació d'àtoms.
 - Pèrdua d'electrons de les capes externes.
 - Formació de partícules carregades positivament.
- El fonament del procés és el següent:
 - Si un gas es troba en les condicions anteriors i s'introdueix en un camp elèctric es generarà un corrent elèctric, format pels electrons lliures dirigint-se al pol positiu del camp elèctric, i a les partícules positives cap al negatiu. Aquest corrent elèctric determina una resistivitat i, per tant, una transformació en calor que depèn de la intensitat elèctrica. D'aquesta manera, augmentant la intensitat del camp elèctric s'augmenta: la intensitat electrònica i catiònica, la transformació en calor i la temperatura del gas.

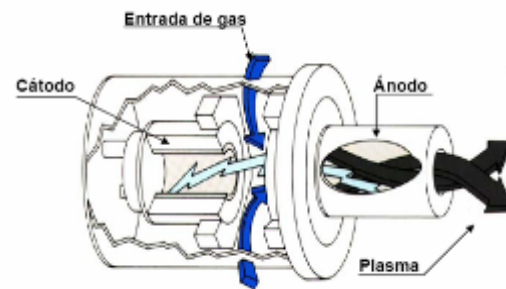


Figura 53: Esquema de generació de plasma

- Aquest procés té com a límit pràctic la resistència mecànica i tèrmica dels elèctrodes.

El plasma, com a tècnica tèrmica per al tractament de residus, presenta tres possibilitats:

- Tractament de gasos perillosos, els quals es sotmeten a les temperatures de treball, destruint així la seva estructura molecular. Un exemple clar, és l'aplicació per a la destrucció de PCBs, dioxines, furans, pesticides, etc.
- Vitrificació de residus perillosos, tant per als residus orgànics, destruint la seva estructura molecular, com per als inorgànics, mitjançant la fusió dels mateixos dins d'una massa vítria. Després de refredar i solidificar la massa fusió, els residus romanen físicament capturats dins de la massa vítria, i per tant es converteixen en un sòlid inert, minimitzant les seves possibilitats de lixiviació.
- Gasificació per plasma, en la que s'utilitza com a font de calor l'energia tèrmica continguda en el propi plasma a partir de l'energia (normalment elèctrica) consumida per a la generació del mateix. D'aquesta forma, s'obté com a producte acabat, un gas els components bàsics del qual són:
 - Gas, compost fonamentalment per monòxid de carboni i hidrogen.
 - Residu sòlid, consistent en una escòria inert generalment vitrificada.

La gasificació per plasma, presenta avantatges respecte a la gasificació autotèrmica, en quant a recuperació energètica:

- Al treballar a majors temperatures, es redueix la quantitat de carboni en escòries i la generació de quitrans, per la qual cosa les pèrdues energètiques en termes de PCI són menors.

- En generar-se una menor quantitat de gasos (menor quantitat de CO_2 i de N_2) l'energia necessària per a les etapes de depuració i compressió del gas cru, seran també menors.
- La utilització de combustibles complementaris, com coc, augmentaria el PCI del gas de síntesi, per la seva major facilitat de gasificació i aportació de CO.
- En vitrificar les escòries, es produeix una pèrdua addicional d'energia, tant en l'extracció directa d'energia del reactor com per la necessitat de mantenir temperatures molt elevades.

En quant a la valorització del gas de síntesi obtingut en la gasificació per plasma, es pot realitzar per mitjà de cicles tèrmics combinats de turbina de gas i de vapor o per motors de gas. Els tecnòlegs descriuen rendiments teòrics d'obtenció d'energia elèctrica, superiors al 50%, en el primer cas, i entorn del 35% en el cas dels motors de gas.

1.4.1. Anàlisi dels paràmetres tècnics.

1.4.1.1. Pretractaments i característiques dels residus.

Com a resultat de les proves realitzades a la planta pilot, algunes fonts asseguren que aquesta tecnologia podria arribar a tractar una àmplia varietat dels residus, com RM, CDR, residus industrials, biomassa, residus sanitaris, de desballestaments de vehicles, pneumàtics, CSR, plàstics, residus especials, etc., encara que no tots ells estan provats en mateix nivell.

A diferència de la gasificació i la piròlisi, en aquesta tecnologia també s'inclouen residus amb alt contingut de compostos inorgànics i inerts, d'humitat i, fins i tot, de valors de PCI reduïts, per la possibilitat d'aportació energètica externa.

Tanmateix, aquesta mateixa aportació energètica és la que implica limitacions en rendibilitat econòmica. Per evitar un cost excessiu s'ha de tractar residus d'alt PCI, de baix contingut en volàtils, impureses i humitat.

Així doncs, es requereix un pretractament en el que es redueixi la quantitat d'inerts i humitat, així com una homogeneïtzació de la grandària de partícula dels residus, tal com es realitza en els processos de gasificació i piròlisi.

1.4.1.2. Tecnologies de plasma.

La generació de plasma pot realitzar-se aplicant tant corrent continua, com corrent alterna; entre elèctrodes; o en el seu defecte un camp magnètic subjecte a radiofreqüència o per aplicació de microones.

1.4.1.2.1. Arc de plasma.

Aquest és un procés que consisteix a fer fluir un gas inert a través d'un camp elèctric format per dos elèctrodes. Es classifiquen segons la posició relativa dels elèctrodes i segons el gas inert usat.

– Segons posició relativa dels elèctrodes:

- D'arc transferit: l'arc es forma en l'interior dels elèctrodes, els quals són a la pròpia torxa, i els gasos s'alimenten dins d'aquesta. El gas calent surt per l'extrem de la torxa i sense càrrega elèctrica.
- D'arc no transferit: un elèctrode és a la torxa mentre que l'altre es troba fora de la mateixa, en un bany de metall o a les parets del reactor. Es crea un corrent entre l'elèctrode i el bany metàl·lic fos.

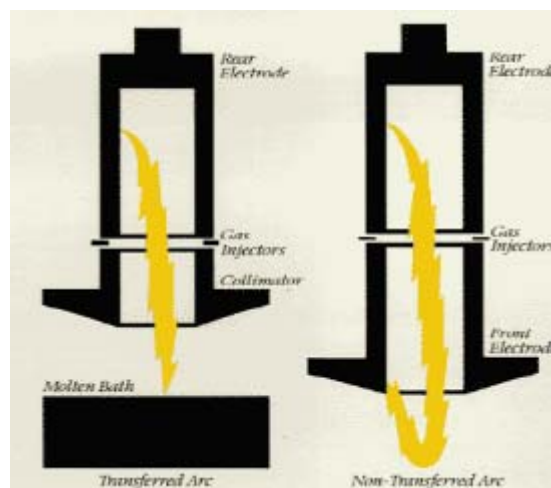


Figura 54: Esquema del sistema de plasma d'arc transferit i d'arc no transferit.

– Segons el gas inert usat:

- Argó com a gas inert: L'eficàcia de destrucció i eliminació és superior al 99.9998% en la destrucció de CFC i halògens, treballant a 120 kg/h i amb una potència elèctrica de 150kW.

Així mateix, es produeixen baixes emissions de PCDD/F i altres contaminants a causa del volum relativament baix del gas produït en el procés.

- Diòxid de carboni com a gas inert: el procés ha demostrat alts nivells en l'eficàcia de destrucció i eliminació de components refractaris.
- Nitrogen com a gas inert: aconsegueix el 99.99% en eficàcia de destrucció i eliminació de CFC, HCFC i HFC, treballant amb un cabal d'alimentació de 10 kg/h.

1.4.1.2.2. Plasma de radiofreqüència acoblat inductivament (ICRF).

S'usa torxes de plasma inductivament acoblades, per a la generació del camp magnètic. Així, l'absència d'elèctrodes permet l'ús d'un ampli rang de gasos, incloent els inerts amb atmosferes reductores o oxidants, a més d'aconseguir una major fiabilitat que en el procés anterior.

El procés de plasma ICRF ha demostrat una eficàcia de destrucció i eliminació superior al 99.99% de CFC, per a un cabal d'alimentació d'entre 50 - 80 kg/h.

1.4.1.2.3. Plasma en corrent alterna.

Aquest procés és similar a l'ICRF, excepte en la seva formació que es requereix d'una freqüència de 60 Hz. El sistema és elèctricament i mecànicament simple, sent per aquest motiu, més fiable. Permet treballar amb una àmplia varietat de gasos, incloent aire o vapor com gasos de plasma, i és eficaç per a la destrucció de substàncies destructores de l'ozó.

1.4.1.2.4. Plasma de microones.

Aquest procés s'alimenta d'energia en microones a 2.45 GHz, en un disseny especial de cavitat coaxial, generant plasma a pressions inferiors a l'atmosfèrica.

L'eficàcia d'eliminació i destrucció del procés de plasma de microones supera el 99.99% en CFC-12, amb un cabal d'alimentació de 2 kg/h.

El procés és capaç d'aconseguir altes temperatures d'operació en un breu espai de temps, per la qual cosa té flexibilitat operacional i reducció en el temps d'inactivitat.

S'utilitza argó com gas inert, per a iniciar el plasma, tanmateix no requereix de cap gas per sostenir el plasma, per tant, es millora l'eficàcia de potència, es redueix el cost operacional, i el volum dels gasos de combustió produïts.

A continuació es presenten els tecnòlegs de plasma (selecció).

1.4.2. HITACHI METALS.

1.4.2.1. Introducció.

Hitachi Metals Ltd. es funda l'any 1937 de la compra de Kokusan Industries Ltd per Hitachi Ltd., al Japó. Actualment compta amb filials en USA, Alemanya i Singapur.

Les seves activitats es desenvolupen en diferents sectors:

- Components de sensors.
- Productes reductors de soroll.
- Components subministradors de potència.
- Aplicacions magnètiques.
- Components per a productes de pantalles planes.
- Productes de computació i semiconducció.
- Canonades i infraestructures.
- Aviació, espai i indústria nuclear.
- Construcció.

A més, sota llicència de Westinghouse Plasma Corporation, ha construït l'única planta de tractament d'ASR⁹ i RM del món, per gasificació per plasma, ubicada a Utashinai (Japó) operativa des de l'any 2003.



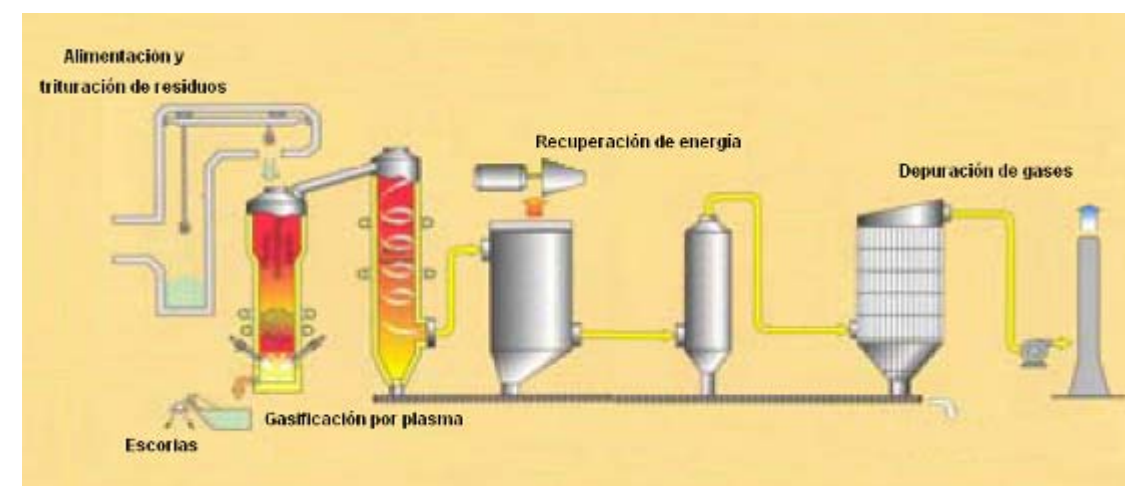
Font: HITACHI METALS

Figura 55: Planta de Utashinai, Japó

1.4.2.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés es basa en una gasificació per arc de plasma, seguit d'una cambra de combustió a altes temperatures.

En la figura següent es presenta un esquema del procés.



Font: HITACHI METALS

Figura 56: Diagrama de procés de plasma tèrmic d'Hitachi Metals Ltd.

⁹ Residus de desballestament d'automòbils.

1.4.2.3. Descripció del procés.

Els residus s'introdueixen per la part superior del gasificador, de manera que a mesura que descendeixen s'assequen, pirolitzen i finalment arriben a la part inferior (on es troben les torxes de plasma) i gasifiquen. La temperatura de treball en el fons del gasificador és d'aproximadament 1.500°C.

Com a producte, es forma un residu sòlid, que s'extreu del gasificador obtenint escòries vitrificades (previ pas d'una immersió en un bany d'aigua) i un gas de síntesi, que s'introdueix en una cambra de combustió a altes temperatures. A l'esmentada cambra, es formen gasos de combustió que s'introdueixen en un cicle tèrmic de vapor.

La informació referida a la tecnologia de recuperació d'energia no està disponible, excepte la que indica que la planta produeix aproximadament 8 MW de l'energia elèctrica, de la qual 4,3 MW són exportats a la xarxa exterior.

Després de la recuperació energètica, els gasos de combustió se sotmeten a depuració, seguint un procés convencional.

1.4.2.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
	- Solament existeix una única referència en el món ubicada al Japó. - No se disposen de detalls del procés fiables, i no estan disponibles dades d'operació, balanços màssics i energètics. - El tipus de residus tractats (ASR) dista molt en composició dels RM.

1.4.2.5. Rendiments del procés. Balanç de massa i energia.

A continuació es presenta una composició típica per a residus denominats ASR (residus de desballestament d'automòbils).

Residu	% sobre el total
Cartró	6,4

Residu	% sobre el total
Paper	11,7
Pneumàtics (sense metall)	32,1
Plàstics	29,3
Tèxtil	11,4
Inert i vidre	5,3
Humitat	3,7
PCI útil estimat	29.438 kJ/kg

Taula 32: Composició típica d'ASR

Aquests residus es caracteritzen per una baixa humitat dels residus i contingut de matèria orgànica biodegradable i un PCI molt elevat.

1.4.2.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/any)	Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
2002	Utashinai, Japó	300 t/d	8 MW	ASR i RM en proporció menor al 50%

Font: HITACHI METALS

Taula 33: Referències de plantes de gasificació per plasma d'Hitachi Metals.

1.4.3. **PLASCO / HERA.**

1.4.3.1. Introducció.

Plasco Energy Group, Inc (Plasco) es va fundar l'any 2005 a Canadà, com a resultat de la unió de dues companyies, RCL Plasma, Inc. i Plasco Energy Corp. Ambdues companyies van patentar el procés de gasificació de Plasco (Plasco Gasification Process, GPG) per al tractament de residus.

Plasco posseeix una planta de pilot a Castellgalí (Espanya), conjuntament amb HERA, on s'estan realitzant proves pel tractament de diferents tipus de residus, contrastant el models teòrics.



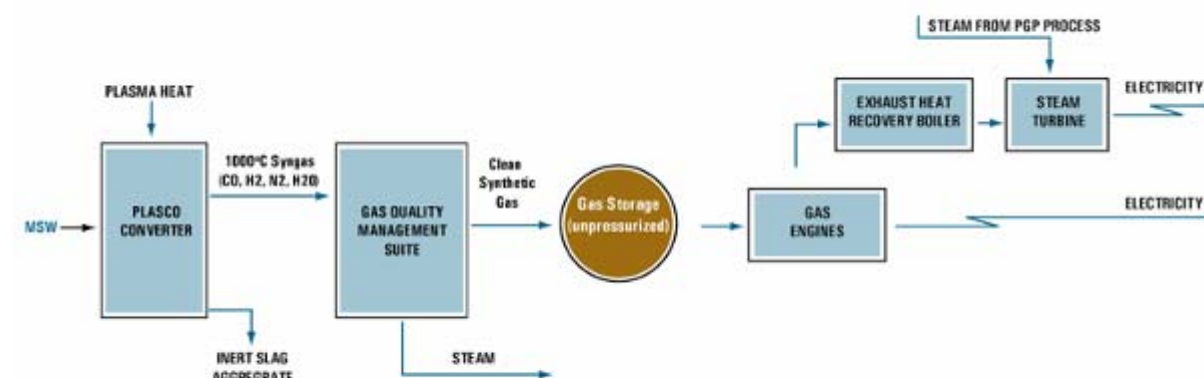
Font: PLASCO ENERGY GROUP

Figura 57: Planta de demostració de plasma de Castellgalí (Espanya).

1.4.3.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés es basa en una gasificació per arc de plasma, seguit d'un motor de gas per a la producció d'electricitat a partir del gas de síntesi generat al gasificador.

A continuació es mostra un diagrama de blocs esquemàtic del procés.



Font: PLASCO ENERGY GROUP

Figura 58: Diagrama de blocs del procés de plasma de PLASCO/HERA

1.4.3.3. Descripció del procés.

El procés es divideix en les següents etapes:

- Alimentació de residus.
- Gasificació per plasma.
- Depuració del gas de síntesi.
- Generació d'electricitat.

Alimentació de residus.

Els residus es dosifiquen al gasificador de plasma mitjançant un sistema de tremuja doble, l'alimentació del qual es realitza mitjançant cargols sense fi, que permeten un control precís de l'alimentació, mentre eviten l'entrada d'aire a aquest.

Gasificació per plasma.

Els residus sòlids s'introdueixen al gasificador, i es preescalfen a una temperatura de 900°C. En aquest moment es posa en marxa l'arc de plasma i genera una temperatura a la ploma (zona de plasma, la grandària de la qual varia segons el flux del gas i el voltatge aplicat) de fins i tot 8.000°C, i consta de:

- Injecció d'aire, o un altre gas plasmògen, a la torxa.

- Refrigeració de la torxa per aigua.
- Alimentació elèctrica de corrent continua i de regulació de la mateixa.
- Escalfament del reactor, per a la posada en marxa.



Font: PLASCO ENERGY GROUP

Figura 59: Arc de plasma en operació.

El procés de tractament amb l'arc de plasma produeix un gas cru a aproximadament, 1.000°C, compost per una barreja de CO, CO₂, H₂, NO_x, vapor d'aigua i traces de fraccions volàtils que no hagin estat *craquejades*. D'altra banda, produeix un residu sòlid fos, el qual s'extreu del gasificador i es refreda. Aquest residu sòlid són escòries compostes principalment per components no volàtils dels residus d'entrada com metalls o vidre.



Fuente: PLASCO ENERGY GROUP

Figura 60: Extracció d'escòries foses del reactor de gasificació.

Depuració del gas de síntesi.

El gas cru entra a una etapa de depuració, que consta d'un cicló d'alta temperatura a la sortida del reactor, on les partícules sòlides es separen. Aquestes partícules, formades fonamentalment per residus arrossegats o partícules de carbó, es recirculen al gasificador.

A continuació es refreda ràpidament amb aigua, evitant la formació de composts orgànics i s'introdueix en un scrubber per eliminar els gasos àcids produïts al gasificador (HCl, HF, H₂S), a més de metalls pesants volatilitzats. Posteriorment s'introdueixen en un filtre de mànigues on es separen les partícules restants i s'injecta calç i/o carbó actiu per assegurar el compliment dels límits d'emissió.

Finalment, i de forma prèvia a la seva introducció al motor de gas, s'ha d'assecar per eliminar l'excés d'humitat.

Generació d'electricitat.

El gas de síntesi s'introdueix a un equip de generació d'electricitat, el qual pot ser un motor de gas o una turbina de gas. La calor dels gasos de combustió d'aquest equip s'usa per generar vapor en una caldera de recuperació de calor. El vapor generat s'introdueix en una turbina de vapor, la qual genera més electricitat.

Tanmateix, segons informació facilitada per PLASCO/HERA, en la planta de demostració no s'ha posat en funcionament la instal·lació de generació d'energia, a causa de la baixa capacitat de producció de la planta, de manera que els assaigs a la turbina o al motor de gas s'efectuaran quan es disposi d'un cabal permanent de gas de síntesi depurat.

1.4.3.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
	– En fase de proves.

1.4.3.5. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de tractament (t/d)	Potència (MW)	Tipus de residu d'entrada a la planta
2003	Castellgalí, España	5	----	Proves amb barreges sintètiques de rebuigs d'Ecoparc 1 de Barcelona, rebuigs de classificació de reciclat de bricks.

Font: PLASCO ENERGY GROUP

Taula 34: Referències de plantes de gasificació de plasma de PLASCO/HERA.

Actualment, Plasco/HERA té en fase de construcció/posada en marxa una planta de demostració a Ottawa (Canadà) de 75 t/d de capacitat. El funcionament d'aquesta planta haurà de permetre analitzar la viabilitat tècnica i econòmica de la tecnologia pel tractament de residus municipals.

2. MILLORS TÈCNIQUES DISPONIBLES (MTD'S): *REFERENCE DOCUMENT ON BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR THE WASTE INCINERATION.*

Com es detalla en l'annex corresponent a l'Estudi tècnic del marc legislatiu normatiu i altres documents de referència, aquest document forma part d'una sèrie que presenta els resultats d'un intercanvi d'informació entre els Estats Membres i les indústries de tractament de residus sobre les millors tècniques disponibles (MTD's), les prescripcions de control corresponents i la seva evolució.

Es tracta d'un document publicat per la Comissió Europea, conforme a l'apartat 2 de l'article 16 de la Directiva del Consell 98/61/CE relativa a la prevenció i al control integrats de la contaminació (IPPC) i, per tant, es tindrà en compte quan es determinin les millors tècniques disponibles, de conformitat amb l'annex IV de la directiva IPPC.

El document descriu les MTD's d'aplicació per a la incineració de residus així com per al tractament de les emissions, aigües residuals i gestió dels residus d'aquestes instal·lacions.

Aquest document, tot i no ser vinculant, és una guia amb recomanacions i suggeriments per a la selecció de tecnologies i la seva afectació sobre el disseny d'instal·lacions, tenint en consideració a més els factors locals.

Es considera que per a cada instal·lació d'incineració de residus, la combinació de les MTD's llistades a continuació, representa un punt de partida per a la determinació de les tècniques i les condicions adequades. L'objectiu pràctic és l'optimització local de la instal·lació, prenent com referència aquesta guia de MTD's, i altres factors locals.

Per a la incineració de residus, els factors locals a tenir en compte inclouen entre uns altres:

- Índexs mediambientals locals, p.e. la qualitat mediambiental de la zona pot influir en l'actuació local requerida, respecte a possibles emissions de la instal·lació, o la disponibilitat de certs recursos.
- La naturalesa dels residus locals i l'impacte de la infraestructura de tractament de la zona.
- El cost i les possibilitats tècniques d'implementació en relació dels seus avantatges potencials.

- La disponibilitat, el grau d'utilització i el preu de les opcions per a la recuperació/eliminació dels residus produïts en la instal·lació.
- La disponibilitat i el preu rebut per la recuperació d'energia.
- Els factors econòmics/mercantils/polítics locals, que puguin influir en la viabilitat tècnic-econòmica de la implantació de determinades tecnologies.

En general, es consideren MTD's per a la incineració de residus segons es recull en el document de referència el següent:

1. Selecció d'una instal·lació dissenyada de tal manera que s'ajusti a les característiques del residu a tractar (segons es detalli en els capítols 4.1.1, 4.2.1, i 4.2.3 del document de referència).
2. El manteniment de l'ordre i neteja de la zona de recepció de residus (segons es detalla en el capítol 4.1.2. del document de referència).
3. El manteniment de tots els equips en condicions adequades de treball, i compliment d'inspeccions i programa de manteniment preventiu.
4. Establir i realitzar controls de qualitat en els residus d'entrada, atenent al tipus de residus que es poden rebre i tractar en la instal·lació, com es descriu a continuació:
 - Establir limitacions d'entrada en la instal·lació i identificar els riscos principals.
 - Comunicar-se amb els subministradors de residus per a millorar el control de qualitat dels residus entrants.
 - Controlar la qualitat dels residus entrants.
 - Ús de detectors de materials radioactius.
5. Emmagatzematge dels residus segons una avaluació de risc de les seves propietats, perquè es minimitzi el risc d'una possible emissió de contaminants. En general, és MTD l'emmagatzemar els residus en àrees que tinguin superfícies resistents, impermeabilitzades i protegides adequadament.
6. Utilitzar tècniques i procediments per a restringir i gestionar el temps d'emmagatzematge dels residus, amb la finalitat de reduir el risc d'emissió de contaminants dels residus emmagatzemats, a més de la deterioració del contenidor. En general, és una MTD:

- Prevenir que els volums de residus emmagatzemats siguin majors que el de l'emmagatzematge previst.
- En la mesura que sigui possible, controlar i gestionar les entrades de residus mitjançant la comunicació amb els proveïdors de residus, etc.

7. Minimitzar les emissions d'olors (i altres emissions fugitives) de les zones d'emmagatzematge de residu en massa (incloent tancs, excloent volums petits emmagatzemats en contenidors) i de les zones de pretractament de residus, mitjançant l'ús de l'aire extret en ambdues zones per a la combustió, en el forn d'incineració.

En el cas que la combustió no sigui possible (p.e. durant el manteniment), aquest control s'ha de portar a terme:

- a) Evitant una sobrecàrrega de residus emmagatzemats.
- b) El tractament de l'aire d'extracció en un sistema de control d'olors alternatiu.

8. Segregar l'emmagatzematge de residus d'acord amb les seves característiques químiques i físiques per a permetre un emmagatzematge i tractament segur.

9. Etiquetar clarament els residus emmagatzemats en els contenidors, de manera que puguin ser identificats en qualsevol moment.

10. Desenvolupar un pla de prevenció, detecció i control de riscos d'incendi en la instal·lació, en particular per a:

- Àrees de pretractament i emmagatzematge de residus.
- Àrees de càrrega del forn.
- Sistemes de control elèctrics.
- Filtres de mànigues i filtres electrostàtics.

S'ha d'incloure en el pla d'implementació l'ús de:

- a) Detectores automàtics d'incendi i sistemes d'alarmes.
- b) Intervencions manuals i/o automàtiques de mitjans contra incendis i del sistema de control, d'acord amb l'anàlisi de riscos realitzat.

11. Barrejar els residus heterogenis (p.e. mitjançant el polp de la fossa de recepció), o posterior pretractament per a la seva homogeneïtzació (p.e. per barreja de residus líquids i

pastosos, o per trituració de residus sòlids) per a arribar a el grau requerit per a complir amb les especificacions de disseny en la instal·lació de recepció.

12. Emprar tècniques per a l'extracció i recuperació de metalls fèrrics i no fèrrics, de les següents zones:

- a) En fons del forn d'incineració, contingut en les escòries.
- b) En la trituració de residus, (p.e. si se'ls sotmet a algun tipus de combustió) prèvia a l'etapa d'incineració.

13. Control per monitoratge visual, directament o mitjançant pantalles de televisió o similar, de les zones d'emmagatzematge o de càrrega.

14. Minimitzar l'entrada incontrolada d'aire a la càmera de combustió, a través de la zona de càrrega de residus o altres vies.

15. Utilitzar models de dinàmica de fluids per a la seva aplicació en plantes noves o ja existents en les quals hagi incerteses relatives a l'eficiència de la combustió o sistema de depuració de gasos de combustió, aportant la següent informació per a:

- a) Optimització de la geometria del forn i la caldera i la injecció d'aire de combustió.
- b) En el cas d'utilitzar una reducció selectiva catalítica o no catalítica (SCR, SNCR), optimitzar els punts d'injecció del reactiu per a millorar l'eficiència de reducció NOx, mentre es minimitza la generació d'òxid nítrics, amoníac i el consum de reactius.

16. Reduir les emissions globals, per a poder adoptar règims d'operació e implementar procediments preferiblement continus (en comptes de tipus batch), i emprar sistemes de manteniment preventiu, amb la finalitat de minimitzar, en la mesura del possible, tant les operacions planejades de posta en marxa i de tancament parada.

17. Identificar la filosofia del control de combustió, i emprar paràmetres clau tant de combustió com de sistema de control de combustió, i mantenir-los en les condicions apropiades, amb la finalitat de mantenir l'adequada de combustió. Les tècniques a considerar per al control de la combustió pot incloure l'ús de càmeres infraroges, ultrasons o controls diferencials de temperatura.

18. Optimització i control de les condicions de combustió per combinació de:

- a) Control del subministrament, distribució i temperatura de l'aire (oxigen) incloent la barreja de gas i oxidant.

- b) Control de nivells de temperatura de combustió i distribució.
- c) Control del temps de residència del gas.

Les tècniques apropiades per a assegurar aquests objectius, són:

- Optimitzar el subministrament d'aire estequiomètric.
 - Optimitzar el subministrament i distribució d'aire primari.
 - Optimitzar el subministrament i distribució d'aire secundari.
 - Optimitzar el temps, temperatura, turbulència dels gasos en la zona de combustió, i concentracions d'oxigen.
 - Disseny per a incrementar la turbulència en la segona càmera de combustió.
19. En general, utilitzar una MTD implica utilitzar aquelles condicions d'operació (p.e. temperatures, temps de residència i turbulències) tal com estan especificades en l'article 6 de la Directiva 2000/76/CE. Per altra banda, l'ús d'altres condicions d'operació, poden ser MTD, si aporten un nivell similar o millor de rendiment mediambiental. Per exemple, si l'ús de temperatures d'operació per sota de 1.100°C (com s'especifica per a certs residus perillosos en la Directiva 2000/76/CE) es demostrï que proveïxen un nivell d'actuació global mediambiental similar o millor, llavors l'ús d'aquestes temperatures es considera MTD.
 20. Precalentar l'aire de combustió primari per a tractar residus de baix PCI, utilitzant la calor recuperada de la pròpia instal·lació, en condicions tals que puguin implicar una millora en la combustió (p.e. quan s'incinerin residus de baix PCI/alta humitat), (segons es descriu en el capítol 4.2.10. del document de referència). En general aquesta tècnica no s'aplica per a incineradores de residus perillosos.
 21. Emprar cremadors auxiliars per a la posta en marxa, parada i manteniment de les temperatures de combustió operacionals requerides en totes les condicions d'operació quan hagi incrementats en la càmera de combustió.
 22. Combinar un sistema de dissipació de calor propera al forn (p.e. per ús de parets refrigerades amb aigua en forns de graella i/o càmeres de combustió secundàries) i aïllament del forn (p.e. àrees refractàries o altres parets revestides de forns) que, atenent als valors de PCS i corrosivitat del residu, proporcionen:
 - a) La retenció adequada de calor en el forn (residus de baix PCI requereixen major temps de residència de calor en el forn).
 - b) Una calor addicional per a ser transferit per a la recuperació d'energia (residus d'alt PCS poden permetre/requerir l'eliminació de calor per a les primeres etapes del forn).

23. Utilitzar dimensions del forn (incloent càmeres secundàries de combustió, etc.) suficientment grans per a proporcionar una efectiva combinació de temps de residència i temperatures, així com produir reaccions de combustió completes, resultant en emissions de CO i de COV baixes i estables.
24. Per al cas de la gasificació o pirólisis, per a entrar la generació de residus, es considera MTD:
 - a) Combinar l'etapa de gasificació o pirólisis amb la subsegüent etapa de combustió amb recuperació d'energia i tractament de gasos de combustió que proporciona uns nivells d'emissió atmosfèrica amb els rangs d'emissions associats a les MTD's.
 - b) Recuperar substàncies (sòlides, líquides o gasoses) que no s'hagin combustionat.
25. Per a evitar problemes d'operació que puguin produir-se per cendres volants amb baix punt de fusió, utilitzar una caldera dissenyada de tal manera que permeti reduir suficientment la temperatura del gas abans dels feixos convectius d'intercanvi de calor de convecció (p.e. preveient suficients passos buits dintre del forn/caldera. i/o parets refrigerades amb aigua o altres tècniques que permetin el refredament. La temperatura per sobre de la qual es produeix un embrutament depèn del tipus de residu i del vapor de la caldera. En general, per a RM, és usualment 600–750°C.
26. L'optimització global de l'eficiència i recuperació energètica de la instal·lació, tenint en compte la viabilitat tècnica i econòmica (especialment per a l'alta corrosivitat dels gasos de combustió de residus p.e. clorats), i l'existència d'usuaris de l'energia recuperada, en general:
 - a) Reduir les pèrdues de calor dels gasos de combustió.
 - b) La caldera de recuperació de calor dels gasos de combustió per a la producció d'electricitat i/o subministrament de vapor/calor, obté una eficiència de conversió tèrmica de:
 - Per a barreges de RM, d'almenys 80%.
 - Per a residus sòlids urbans pretratats (o residus similars) tractats en forns de llits fluiditzats, s'aconsegueix del 80 al 90%.
 - Per a processos de gasificació i pirólisis, combinats amb la subsegüent etapa de combustió, s'aconsegueix una eficiència de conversió tèrmica d'almenys 80% en una caldera de recuperació de calor, o l'ús d'un motor de gas o altres tecnologies de generació elèctrica.

27. Situar noves instal·lacions de tal manera que l'ús de calor/vapor generat en la caldera puguin ser maximitzades a través de qualsevol combinació de:

- a) Generació d'electricitat amb subministrament de calor o vapor per al seu ús.
- b) Subministrament de calor o vapor per a l'ús de xarxes de distribució "district heating".
- c) Subministrament de processos de vapor per a diverses utilitats, principalment industrials.
- d) Subministrament de calor o vapor per a utilitzar-se en sistemes de refrigeració.

La selecció de la localització per a una nova instal·lació és un procés complex que comprèn molts factors locals (p.e. transport de residus, disponibilitat d'usuaris energètics, etc.) els quals es recullen en l'article 9 (4) de la Directiva IPPC. La generació de l'electricitat solament pot implicar una major eficiència energètica de recuperació d'energia dels residus en casos específics, on, els factors locals són adversos a la recuperació de calor/vapor.

28. En casos on es genera electricitat, optimitzar els paràmetres de vapor (subjectes als requeriments de l'usuari del vapor o calor produïda), incloent les següents consideracions:

- a) L'ús de paràmetres de vapor per a incrementar la generació elèctrica, i
- b) L'ús de materials de caldera resistents (p.e "claddings" o materials especials per als tubs de caldera).

Els paràmetres òptims per a una instal·lació individual depenen de la corresponsabilitat dels gasos de combustió i per tant de la composició dels residus.

29. Seleccionar una turbina adequada per a:

- a) Subministrar electricitat i calor.
- b) Obtenir una alta eficiència elèctrica.

30. Minimitzar la pressió del condensador en les instal·lacions dissenyades donant prioritat la generació d'electricitat, per sobre del subministrament de calor.

31. Minimitzar globalment la demanda d'energia produïda en la instal·lació, incloent les següents consideracions:

- a) Per a un nivell de funcionament determinat, seleccionar tècniques de baixa demanda energètica preferentment a aquelles de major demanda.
- b) Sempre que sigui possible, dissenyar el sistema de tractament de gasos de combustió de manera que s'eviti el reescalfament dels gasos de combustió.

c) On s'utilitzi una reducció catalítica selectiva (SCR):

- Utilitzar intercambiadors de calor per a escalfar els gasos de combustió a l'entrada de SCR amb els quals surten de SCR.
- Seleccionar el sistema de SCR que, complint amb la reducció, disponibilitat i eficiència requerida, tingui una temperatura d'operació menor.

d) On es requereixi el reescalfament dels gasos de combustió és necessari usar sistemes d'intercanvi de calor per a minimitzar la demanda de gasos de combustió recalentats.

e) Aprofitar l'energia produïda en la mateixa planta preferentment a l'ús de combustibles primaris importats.

32. Quan es requereixin sistemes de refrigeració, utilitzar un sistema de condensació de vapor que sigui el més adequat per a les condicions ambientals locals.

33. Utilitzar una combinació de tècniques de depuració de calderes "on-line" i "off-line" per a reduir l'estada de la pols i la seva acumulació en la caldera.

34. Utilitzar un sistema global de tractament de gasos de combustió, que generalment compleixi amb les emissions llistades en la taula següent, associats a l'ús de MTD's.

Substàncies	Mostres no contínues	Promig ½ hora	Promig 24 hores	Comentaris
Partícules totals		1 – 20	1 – 5	L'ús de filtres de mànegues produeix valors més baixos d'emissió. El manteniment efectiu dels sistemes de control de partícules és molt important. El control de les emissions de partícules, generalment, redueixen també les emissions de metalls.
Clorur d'hidrogen (HCl)		1 – 50	1 – 8	El control, barreja i homogeneització dels residus pot reduir fluctuacions de les concentracions que poden dur a altes emissions a curt termini.
Fluorur d'hidrogen (HF)		< 2	< 1	
Diòxid de sofre (SO₂)		1 – 150	1 – 40	Els sistemes humits de tractament de gasos de combustió posseeixen una capacitat major d'absorció i proporcionen nivells més baixos d'emissió per a aquestes substàncies, però són més cars.

Substàncies	Mostres no contínues	Promig ½ hora	Promig 24 hores	Comentaris
Monòxid de nitrogen (NO) y diòxid de nitrogen (NO ₂), expresats com diòxid de nitrogen per a instal·lacions que utilitzin SCR		40 – 300	40 – 100	Les tècniques de control de residus i combustió combinades amb SCR proporcionen uns bons resultats de nivells d'emissió. L'ús de SCR imposa una demanda addicional d'energia i costos. En general les grans instal·lacions d'ús de SCR presenten un cost per tona de residu tractat menor. Un alt N residual pot resultar en un increment en les concentracions del corrent de NO _x .
Monòxid de nitrogen (NO) y diòxid de nitrogen (NO ₂), expresats com diòxid de nitrogen per a instal·lacions que no utilitzin SCR		30 – 350	120 – 180	Les tècniques de control de residus i combustió combinades amb SNCR proporcionen uns bons resultats de nivells d'emissió. Si s'utilitzen altes dosis de reactius, la fugida del NH ₃ resultant es pot controlar utilitzant tractaments de gasos de combustió humits amb les mesures apropiades per a tractar l'aigua residual amoniaca. Un residu amb un alt contingut de N pot resultar en un increment en les concentracions de NO _x del corrent de gas.
Substàncies orgàniques gasoses i vaporoses, expressades com COT		1 – 20	1 – 10	Les tècniques que milloren les condicions de combustió redueixen les emissions d'aquestes substàncies. Les concentracions d'emissió estan només lleugerament influïdes pel tractament dels gasos de combustió. Els nivells de CO poden ser alts durant la posada en marxa i la parada activa, i amb calderes noves que no han arribat encara el seu nivell normal d'operació.
Monòxid de carbó (CO)		5 – 100	5 – 30	
Mercuri i els seus components (com Hg)	< 0,05	0,001 – 0,03	0,001 – 0,02	Generalment s'utilitzen adsorbents basats en carbó, ja que aconseguixen els valors d'emissió requerits. Algunes corrents de residus poden tenir concentracions Hg altament variables, pel que en alguns casos es requerirà d'un pretractament per a prevenir puntes. El monitoratge continu de Hg no requereix en la directiva 2000/76/EC.
Cadmi i tal·li total (i els seus components expressats com metalls)	0,005 – 0,05			Veure els comentaris de Hg. La baixa volatilitat d'aquests metalls respecte al Hg significa que els mètodes de control partícules i de metalls són més efectius per a controlar aquestes substàncies que el Hg.

Substàncies	Mostres no contínues	Promig ½ hora	Promig 24 hores	Comentaris
Σ d'altres metalls	0,005 – 0,5			Les tècniques de control dels nivells de partícules generalment també controlen l'emissió d'aquests metalls.
Dioxines i furans (ng TEQ/Nm ³)	0,01 – 0,1			Les tècniques de combustió destrueixen al PCDD/F dels residus. El disseny específic i controls de temperatura redueixen la síntesi de-novo. A més d'aquestes mesures, les tècniques de reducció mitjançant adsorbents basats en carbó redueixen les emissions finals a valors de fins a per sota de 0,001 resultant en un major consum de reactius i generació de residus.
Substàncies no incloses en la directiva 2000/76/EC per a incineració de residus:				
Amoníac (NH ₃)	< 10	1 – 10	< 10	Els sistemes efectius de reducció de control de NO _x , incloent el dosatge de reactius, redueixen les emissions de NH ₃ . Els scrubbers humits absorbeixen NH ₃ i els transfereixen al corrent d'aigua residual.
Benzapirè	PCBs, PAHs i bezapirens es poden controlar utilitzant les tècniques aplicades per a PCDD/F. Els nivells de N ₂ O depenen de les tècniques de combustió i optimització.			Les tècniques que controlen al PCDD/F també controlen al Benzapirè, PCBs i PAHs.
PCBs				La combustió eficient i el sistema control de NO _x contribueixen a reduir les emissions de N ₂ O. Els majors nivells equivalen als resultats obtinguts per llits fluiditzats operats a menors temperatures (per sota de 900°C aproximadament).
PAHs				
Òxid nitros (N ₂ O)				

35. Quan se seleccioni entre un sistema de depuració de gasos humit, semi-humit i sec, es tindran en consideració els criteris (no exhaustius) donats com exemple en la taula següent:

Criteri	Tractament de gasos de combustió	Comentaris
---------	----------------------------------	------------

	Humit (W)	Semi- humit (SW)	Sec (cal) (DL)	Sec (bicarbonat sòdic) (DS)	
Rendiment en el tractament de les emissions	+	0	-	0	- Els sistemes humits generalment rendeixen les emissions més baixes de HCl, HF, NH₃ y SO₂. - Normalment, cadascun dels sistemes estan combinats amb instal·lacions addicionals de control de partícules i PCDD/F. - Els sistemes DL poden arribar a nivells similars d'emissió als DS i SW, però requereix un major consum de reactius i duu associat un increment en la producció de residus.
Producció de residus	+	0	-	0	- La producció de residus per tona de residu tractat és generalment major amb sistemes DL i menor amb sistemes W - Es pot recuperar el material dels residus en sistemes W i sistemes DS. En el cas dels sistemes W han d'anar seguits d'un tractament de les aigües residuals del scrubber.
Consum d'aigua	-	0	+	+	- El consum d'aigua és generalment major en els sistemes W - Els sistemes secs utilitzen aigua en quantitats mínimes o fins i tot nul·les.
Producció d'aigües residuals	-	+	+	+	- Les aigües residuals generades (si no s'han evaporat) en sistemes W, s'han de tractar i abocar en un medi receptor salat (p.e. mar). El desavantatge de l'abocament, pot no ser-ho. - L'eliminació d'amoníac del corrent d'aigües residuals pot ser complexa.
Consum d'energia	-	0	0	0	El consum d'energia és major en els sistemes W, a causa de la demanda de la bomba, i s'incrementa en major mesura on es combina amb altres components de tractament de gasos, p.e. eliminació de partícules.
Consum de reactiu	+	0	-	0	- Generalment es dona un menor consum de reactius en sistemes W. - En el cas de DL, es dona un consum major de reactius, però pot reduir-se amb recirculació de reactiu. - Els sistemes SW, DL i DS poden beneficiar-se del control i mesura dels gasos àcids en el corrent a tractar.

Criteri	Tractament de gasos de combustió				Comentaris
	Humit (W)	Semi- humit (SW)	Sec (cal) (DL)	Sec (bicarbonat sòdic) (DS)	
Flexibilitat davant variacions de contaminants en el gas a tractar	+	0	-	0	- Els sistemes W són capaços de tractar amb un rang més ampli de contaminants i davant fluctuacions més ràpides en la concentració de HCl, HF y SO₂. - Els sistemes DL generalment ofereixen menor flexibilitat, encara que pot millorar-se mitjançant el control i mesura dels gasos àcids a tractar.
Visibilitat del plomall	-	0	+	+	- La visibilitat del plomall és generalment major en sistemes humits (excepte si s'utilitzen mesures especials) - Els sistemes secs generalment tenen una visibilitat del plomall menor.
Complexitat del procés	- (més alta)	0 (mitjà)	+	+	Els sistemes W en si mateixos són bastant simples però requereixen unes instal·lacions complementàries, incloent tractament d'aigües residuals, etc.
Costos inversió	Generalment més alts	Mitjà	Generalment més baixos	Generalment més baixos	Costos addicionals dels sistemes humits pels costos addicionals d'instal·lacions complementaris de tractament de gasos i auxiliars, més significatiu per a plantes petites.
Costos operació	Mitjà	Generalment més baixos	Mitjà	Generalment més baixos	- Té un cost operacional afegit per al tractament de les aigües residuals per als sistemes W, el qual adquireix major importància en plantes petites. - Una alta eliminació de residus eleva el cost si es produeixen més residus, i es consumeix més reactiu. Els sistemes W generalment produeixen menors quantitats de reactiu i per això poden tenir menors costos de gestió de reactius i residus. - Els costos operacionals inclouen consumibles i manteniment. Els costos operacionals depenen molt del cost local per als consumibles i els residus a gestionar.
Nota	+ significa que l'ús de la tècnica generalment ofereix un avantatge pel que fa al criteri considerat 0 significa que l'ús de la tècnica generalment no ofereix cap avantatge o desavantatge significatiu pel que fa al criteri considerat - significa que l'ús de la tècnica generalment ofereix un desavantatge pel que fa al criteri considerat				

36. Prevenir l'increment de consum elèctric (tret que hagi un condicionament local específic) evitant l'ús de dos filtres de mànigues en una única línia de tractament de gasos de combustió.

37. Reduir el consum de reactius del tractament de gasos de combustió en un sistema sec, semi-sec i intermedi, mitjançant:

- a) L'ajustament i control de la quantitat de reactius injectats amb la finalitat d'arribar a els requeriments i emissions finals per al tractament dels gasos de combustió tals i com les emissions operacionals finals.
- b) L'ús de senyals de resposta ràpida aigües dalt i/o aigües sota HCl i/o SO₂ (o altres paràmetres adequats) per a l'optimització de la injecció de reactius.

L'aplicabilitat i l'ús de les tècniques proposades variarà en funció de: les característiques dels residus, la naturalesa dels gasos de combustió generats, els nivells d'emissió requerits i l'experiència de les tècniques en la instal·lació.

38. Utilitzar mesures primàries de reducció de NO_x, per a reduir la producció de NO_x, juntament amb SCR o SNCR, segons requeriments. En general, es considera el SCR com MTD quan es requereixen altes eficàcies de reducció de NO_x i baixes concentracions de NO_x en les emissions de gasos de combustió.

39. Reduir les emissions de PCDD/F mitjançant l'ús de:

- a) Selecció de tècniques (segons es descriu en l'apartat 4.1 del document) per a millorar el coneixement i el control dels residus, incloent, en particular, les seves característiques de combustió.
- b) Tècniques primàries (relacionats amb la combustió) per a destruir PCDD/F en els residus i possibles precursors de PCDD/F.
- c) Disseny d'instal·lacions i controls d'operació que eviten les condicions que afavoreixen l'augment de generació de PCDD/F.
- d) L'ús de la combinació adequada d'una o més de les següents mesures de reducció de PCDD/F:
- e) Adsorció per injecció de carbó actiu, o altres reactius juntament amb filtres de mànigues.
- f) Adsorció utilitzant llits fixos amb una taxa de reposició de adsorbent adequada.
- g) SCR multicapa, dimensionament per a controlar emissions de PCDD/F.
- h) Filtres de mànigues catalítics (únicament quan s'inclouen altres mesures per al control d'emissions de metalls i Hg).

40. Si es recirculen a combustió els residus del tractament de gasos de combustió, aplicar les mesures adequades per a evitar la re-circulació i acumulació de Hg en la instal·lació.

41. Per a controlar les emissions de Hg en processos on s'apliquen scrubbers humits, s'ha de:

- a) Utilitzar un pH baix en la primera etapa amb addició de reactius específics per a l'eliminació de Hg, en combinació amb les següents mesures addicionals per a la reducció metàl·lica de Hg elemental.
- b) Injectar carbó actiu.
- c) Utilitzar filtres de carbó actiu o coc.

42. Utilitzar carbó actiu o altres adsorbents efectius per a l'adsorció de PCDD/F i Hg, per al control d'emissions de Hg en scrubbers humits.

43. Optimitzar la recirculació i la reutilització de l'aigua residual de la pròpia instal·lació, per exemple, utilitzant aigua de purga de la caldera com subministrament per a un scrubber humit, i reduir així el consum d'aigua de xarxa del scrubber.

44. Utilitzar sistemes separats de drenatge, tractament i descàrrega d'aigües pluvials, incloent l'aigua de cobertes, de manera que no es barregi amb corrents d'aigües residuals contaminades. Algunes dels corrents d'aigua solament requereixen un mínim o cap tractament previ per a la seva descàrrega, depenent del risc de contaminació i factors de descàrrega local.

45. Si s'empra un tractament de gasos de combustió humit, es deu:

- a) Utilitzar tractaments físic-químics in situ per a les aigües residuals del scrubber, per a garantir els nivells d'abocament requerits.
- b) Tractar separatament els corrents d'aigües residuals àcides de les alcalines, en els casos que es recuperi p.e. el HCl i/o guix.
- c) Recircular les aigües residuals del scrubber en el propi equip, utilitzant la conductivitat elèctrica (mS/cm) com mesura de control de la recirculació, per a així reduir el consum d'aigua en el scrubber.
- d) Preveure la capacitat necessària d'emmagatzematge per a les aigües residuals dels scrubbers, permetent així més estabilitat als processos de tractament d'aigües residuals.
- e) Emprar sulfurs (p.e. m-trimercaptotriazina) o altres lligants de mercuri per a reduir Hg (i altres metalls pesats) en el efluent final.

Paràmetres	Marges acceptats com MTD (mg/l)	Mostres e informació de dades
Total de sòlids suspesos definits per la directiva 91/271/EEC	10 – 30 (95%) 10 – 45 (100%)	Basat en una mostra diària o una mostra promig de 24 hores de fluid.
Demanda Química d'Oxigen	50 – 250	Basat en una mostra diària o una mostra promig de 24 hores de fluid.
pH	pH 6,5 – pH 11	Mesurament en continu
Hg i els seus components, expressats com Hg	0,001 – 0,03	Basat en una mesura mensual del fluid, equivalent a una mostra representativa durant un període de 24 hores, amb una mostra per any que excedeixi els valors donats, o no més del 5% sobre l'avaluació de 20 mostres per any
Cd i els seus components, expressats com Cd	0,01 – 0,05	
Tl i els seus components, expressats com Tl	0,01 – 0,05	
As i els seus components, expressats com As	0,01 – 0,15	
Pb i els seus components, expressats com Pb	0,01 – 0,1	
Cr i els seus components, expressats com Cr	0,01 – 0,5	
Cu i els seus components, expressats com Cu	0,01 – 0,5	
Ni i els seus components, expressats com Ni	0,01 – 0,5	
Zn i els seus components, expressats com Zn	0,01 – 1,0	
Sb i els seus components, expressats com Sb	0,005 – 0,85	
Co i els seus components, expressats com Co	0,005 – 0,05	Sb, Mn, V y Sn no estan inclosos en la Directiva 2006/76
Mn i els seus components, expressats com Mn	0,02 – 0,2	
V i els seus components, expressats com V	0,03 – 0,5	
Sn i els seus components, expressats com Sn	0,02 – 0,56	
PCDD/F (TEQ)	0,01 – 0,1 ng TEQ/l	Promig de mesures semestrals d'una mostra de fluid representativa de la descàrrega en un període de 24 hores

46. L'ús de tècniques adequades i principals (descrites en el capítol 4.6.1. del document) per a millorar la combustió dels residus, aconseguint valors de COT de les cendres residuals inferiors al 3% (p/p) i típicament entre 1 i 2% (p/p), incloent en particular:

- a) La combinació del disseny del forn, operativitat i taxa d'alimentació que produeixi la suficient agitació, temps de residència dels residus i altes temperatures en el forn.

- b) El disseny del forn tal que, en la mesura del possible, retengui físicament el residu en la càmera de combustió per a permetre la seva combustió.
- c) L'ús de tècniques per a la barreja i pretractament del residus, com es descriu en la MTD 11, d'acord amb el tipus de residu rebut en la instal·lació.
- d) L'optimització i control de les condicions de combustió, incloent el subministrament i distribució de l'oxigen, com es descriu en la MTD 18.

47. Separar les cendres recollides en fons del sistema de tractament de gasos de combustió, de les cendres volants i d'altres residus del sistema de tractament, per a evitar la contaminació de les cendres de fons i així millorar el seu potencial de recuperació.

48. Separar els metalls fèrrics i no-fèrrics de les cendres de fons, en la mesura del possible segons la viabilitat tècnic-econòmica, per a la seva recuperació.

49. Tractar les escòries de fons (en la planta o a l'exterior) mitjançant una combinació adequada de:

- a) Tractament sec d'escòries amb o sense maduració.
- b) Tractament humit d'escòries amb o sense maduració.
- c) Tractament tèrmic.
- d) Garbellat i trituració.

50. Implementar les mesures de reducció de soroll per arribar als requeriments de soroll locals.

51. Aplicar un Sistema de Gestió Ambiental.

Millors tècniques disponibles específiques per a la incineració de RM:

52. Emmagatzemar els residus (llevat dels residus amb un potencial baix de contaminació, p.e mobles), en superfícies impermeabilitzades amb drenatges controlats situades en l'interior d'edificis.

53. Quan s'emmagatzemen els residus (típicament per a una incineració posterior) s'haurien d'embalar, o en cas contrari preparar-los perquè en el seu emmagatzematge es controlin les olors, propagació d'insectes, incendis i/o lixiviat.

54. Pretractar els residus per a millorar la seva homogeneïtat i, per tant, les seves característiques de combustió posterior, mitjançant:

- a) La barreja en la fossa, i
- b) L'ús de trituració per als residus voluminosos (com mobles).

En general les graelles i els forns rotatius requereixen nivells baixos de pretractament (p.e. barreja de residus amb trituració de residus voluminosos) mentre que en els sistemes de llit fluiditzat es requereix una major selecció de residus i pretractament, normalment incloent RM totalment triturats.

55. Emprar graelles dissenyades amb un nivell de refrigeració suficient de la graella, de tal forma que permeti la variació del subministrament d'aire primari per al control de combustió, més que per a la pròpia refrigeració mateixa. Les graelles refrigerades amb aire, amb una bona distribució de flux d'aire refrigerant, estan dissenyades per a un PCS promig de residus de fins a 18 MJ/kg aproximadament. Per a valors més alts de PCS es requereix aigua (o altre líquid refrigerant), amb la finalitat d'evitar la necessitat de nivells d'aire primaris excessius i controlar així, la temperatura de graella i la posició i la longitud del foc en la graella.
56. Situar les noves instal·lacions en llocs que l'ús de CHP (*Combined Heat and Power*) i/o calor i/o vapor pugui maximitzar-se, de manera que es pugui exportar l'excedent d'energia global de 1,9 MWh per tona de RM (basat en el PCI promig de 2,9 MWh per tona).
57. Si solament es poden exportar valors inferiors a 1,9 MWh per tona de RM (basat en un promig de PCI de 2,9 MWh per tona) llavors a més es pot:
 - a) Generar un promig anual de 0,4 – 0,65 MWh electricitat per tona de RM processat (basat en un PCI promig de 2,9 MWh per tona) amb el subministrament addicional de calor/vapor quan sigui possible per a les condicions locals.¹⁰
 - b) Generar almenys la mateixa quantitat d'electricitat dels residus que el promig de la demanda anual d'electricitat de la instal·lació completa incloent (quan sigui aplicable) el pretractament i operacions de tractament de residus in situ.
58. Reduir el promig de demanda elèctrica de la instal·lació (excloent el pretractament o tractament dels residus) per sota de típicament 0,15 MWh per tona de RM tractat (basat en un PCS promig de 2,9 MWh per tona de RM).

Millors tècniques disponibles específiques per a la incineració de RM seleccionats o pretractats:

59. Emmagatzemar els residus en:

- a) Tremuges encapsulades o,
- b) Superfícies impermeabilitzades amb drenatges controlats situades en l'interior d'edificis.

60. Apilar els residus (típicament per a una incineració posterior) en bales o en cas contrari, preparar-los per al seu emmagatzematge de manera que es controlin les possibles olors, propagació d'insectes, incendis i/o lixiviats.
61. Aconseguir en les instal·lacions una generació elèctrica major de:
 - a) Un promig anual d'almenys 0,6 – 1,0 MWh electricitat per tona de residu (basat en un PCI promig de 4,2 MWh per tona).
 - b) La demanda d'electricitat (mitjana anual) de la instal·lació completa, incloent (quan sigui aplicable) el pretractament i operacions de tractament dels residus in situ.
62. Situar les noves instal·lacions de manera que:
 - a) A més de la generació d'electricitat de 0,6 – 1,0 MWh per tona d'electricitat generada, la calor i/o vapor pugui utilitzar-se per a CHP, de manera que es pugui arribar a una exportació d'energia tèrmica de 0,5- 1,25 MWh per tona de residu (basat en un PCS promig de 4,2 MWh per tona)
 - b) On no es generi electricitat, es podria arribar a una exportació de 3MWh per tona de residu (basat en un PCI promig de 4,2 MWh per tona).
63. Reduir la demanda energètica de la instal·lació i arribar a una demanda promig d'electricitat en la instal·lació (excloent pretractament o tractament de residus) inferior a 0,2 MWh per tona de residus tractats (basat en un PCI promig de 4.2 MWh per tona de residu).

¹⁰ L'ús directe de calor/vapor (exporta i/o consumició pròpia) reduirà la generació d'electricitat, i per això servir una demanda de calor pot significar que es generi menys del 0,4 MWh electricitat per tona de residus.

3. RESUM - CONCLUSIONS.

- S'han identificat i caracteritzat les diferents tecnologies de tractaments mecànics (triatge) i/o biològics (aerobis i anaerobis) de residus municipals actives i disponibles a nivell industrial que es poden considerar en el marc del model de gestió dels residus municipals de Catalunya, aplicant els criteris definits al legislatiu i normatiu (veure Annex corresponent).

Així mateix s'han analitzat altres processos complementaris associats als tractaments anteriors (tractament d'aigües residuals, tractament d'aïres, tractament de biogàs i tractament dels gasos de combustió).

- Per a les diferents tecnologies de tractament s'han presentat les alternatives d'aplicació individual o conjunta de les tecnologies analitzades, identificant en cada cas les solucions o configuracions més recomanables d'acord amb l'estat de l'art i els objectius del tractament (p.e. maximitzar la recuperació de materials, estabilització de residu amb destinació a abocador controlat, producció de compost, producció de biogàs, producció d'una fracció combustible, etc.) per a les següents fraccions dels residus municipals:

- Fracció RESTA de recollida selectiva.
- Fracció orgànica de recollida selectiva (FORM).
- Envasos i residus d'envasos.
- Rebuig deposició.
- Residus voluminosos.
- Residus comercials.

- Per a cada tecnologia s'han analitzat els paràmetres bàsics de disseny així com les seves limitacions i aplicacions. S'han analitzat una selecció de les principals tecnologies existents en el mercat. Les conclusions de l'anàlisi de cada tecnologia amb els avantatges i inconvenients es presenta en l'apartat corresponent.
- Així mateix s'han analitzat els tractaments tèrmics per a la valorització energètica dels residus municipals. La tecnologia principal per al tractament de residus municipals és la incineració, particularment, en graella, la qual compta amb una amplíssima experiència, estant molt provada tant tecnològicament, com econòmicament i energèticament. Per altra banda, s'han analitzat les tecnologies emergents per al

tractament tèrmic de residus com la gasificació, la piròlisi i la gasificació a alta temperatura per plasma sent la maduresa, experiència i referències a nivell industrial per al tractament de RM molt més limitades.

- S'han descrit les Millors Tècniques Disponibles (MTD's) aplicables d'acord amb el "Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries" i "Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration", publicats per la CE en compliment de la Directiva 96/61/CE, de 24 de setembre de 1996, relativa a la prevenció i control integrats de la contaminació (IPPC). L'anàlisi s'ha centrat en l'afectació de les MTD's sobre les tecnologies de tractament i el control de les emissions dels processos.