Agència de Residus de Catalunya

Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient i Habitatge

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

ANNEX 3 PART A – ESTUDI DE TECNOLOGIES

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS. 5
2. TRACTAMENTS MECÀNICS. 7
2.1. Justificació i criteris d'aplicació dels processos de tractament mecànic a plantes TMB. 8
2.1.1. Nombre i capacitat de les línies. 8
2.1.2. Separació de voluminosos. 8
2.1.3. Grau d'obertura de bosses. 9
2.1.4. Preparar i condicionar els residus per al procés biològic posterior. Separació de la part orgànica. 9
2.1.5. Classificació dels materials valoritzables. 15
2.1.6. Recuperació dels materials valoritzables i/o amb valor. 15
2.1.7. Post refinament de les sortides dels processos TMB. 17
2.1.8. Premsat. 17
2.2. Classificació i selecció d'envasos i residus d'envasos. 18
2.2.1. Factors que influeixen en el disseny d'una planta de selecció d'envasos. 19
2.2.2. Criteris de disseny d'una planta de selecció d'envasos. 19
2.2.3. Àrees bàsiques d'una planta de selecció d'envasos. 20
2.2.4. Tipus de planta segons la seva automatització. 22
2.3. Tractament de voluminosos. 23
3. TRACTAMENTS BIOLÒGICS. 25
3.1. Tecnologies de digestió anaeròbia. 25
3.1.1. Anàlisi paràmetres tècnics. 25
3.1.2. VALORGA INTERNATIONAL SAS. 31
3.1.3. OWS. 35
3.1.4. KOMPOGAS. 38
3.1.5. LINDE. 42
3.1.6. SCHWARTING ENVIRONMENTAL SYSTEMS. 50
3.1.7. BTA. 54
3.1.8. WABIO. 59
3.1.9. WAASA. 62
3.1.10. ROS ROCA. 65
3.1.11. HAASE. 71
3.1.12. ARROWBIO. 77
3.1.13. IMK (BIOENERGIE). 80
3.1.14. ISKA. 85
3.1.15. WEHRLE UMWELT. 93
3.2. Tecnologies de compostatge / estabilització aeròbia / "biosecat". 99
3.2.1. Compostatge en piles. 100
3.2.2. Túnels de compostatge. 101
3.2.3. Tambors de compostatge. 101
3.2.4. Compostatge en nau tancada amb volteig automàtic. 102
3.2.5. Estabilització en trinxeres. 103
3.2.6. Comparativa de tecnologies de compostatge. 103
3.2.7. VKW. 106
3.2.8. WESER ENGINEERING. 110
3.2.9. SUTCO. 111
3.2.10. HORSTMANN. 114
3.2.11. LINDE. 118
3.2.12. ROS ROCA. 118
3.2.13. GICOM. 118
3.2.14. HERHOF. 120
3.2.15. ECODECO. 130
4. TRACTAMENTS D'AIGÜES RESIDUALS. 137
4.1. Reactor Discontinu Seqüencial (RDS). 138
4.2. Bioreactors de membrana (BRM). 139
4.3. Sistemes de membrana: Ultrafiltració, nanofiltració, osmosi inversa. 142
4.4. Processos d'evaporació i tractament biològic. 143
5. TRACTAMENTS D'AIRES. 146
5.1. Sistemes d'absorció: rentat de gasos. 147
5.1.1. Abast de la tecnologia. 147
5.1.2. Descripció del funcionament. 147
5.1.3. Característiques tècniques del sistema. 147
5.1.4. Prestacions del sistema (rentat químic oxidant). 148
5.2. Biofiltració. 148
5.2.1. Abast de la tecnologia. 148
5.2.2. Descripció del funcionament. 148
5.2.3. Característiques tècniques del sistema. 149
5.2.4. Prestacions del sistema. 150
5.3. Oxidació tèrmica regenerativa. 151
5.3.1. Abast de la tecnologia. 151
5.3.2. Descripció del funcionament. 151
5.3.3. Característiques tècniques del sistema. 151
5.3.4. Prestacions del sistema. 152
6. TRACTAMENTS DE BIOGÀS. TÈCNIQUES PER A LA REDUCCIÓ DE LES EMISSIONS PROCEDENTS DE LA UTILITZACIÓ DEL BIOGÀS COM A COMBUSTIBLE. 152
6.1. Reducció del sulfur d'hidrogen. 153
6.1.1. Desulfuració biològica amb bioscrubber. 153
6.1.2. Desulfuració biològica amb scrubber i bioreactor. 154
6.1.3. Rentat amb scrubber. 156
6.1.4. Filtració amb òxids de ferro. 157
6.1.5. Adsorció sobre carbó actiu impregnat. 158
6.1.6. Dosificació de clorur fèrric al digestor. 158
6.1.7. Injecció d'aire/oxigen. 158
6.2. Reducció de siloxans. 159

6.3. Reducció de les emissions de gasos de combustió. 159

7. MILLORS TÈCNIQUES DISPONIBLES (MTD´S): *REFERENCE DOCUMENT ON BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR THE WASTE TREATMENT INDUSTRIES. AUGUST 2005.* 160

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Equipament per al post refinament d'esmena orgànica o compost 17
Taula 2. Equipament per al post refinament de CDR (a processos de biosecat).....17
Taula 3. Rendiments i consums típics de diferents sistemes de deshidratació de digerit.....30
Taula 4. Referències Valorga 34
Taula 5. Paràmetres característics del procés Dranco 37
Taula 6. Referències OWS 38
Taula 7. Paràmetres característics del procés Kompogas.....40
Taula 8. Referències Kompogas.....42
Taula 9. Paràmetres característics del procés de digestió Linde-KCA.....44
Taula 10. Paràmetres característics del procés de digestió Linde-BRV.....46
Taula 11. Costos d'inversió orientatius d'algunes plantes de referència de Linde.....48
Taula 12. Referències Linde de les instal·lacions de tractament de RM 49
Taula 13. Plantes de tractament de residus amb tecnologies Linde 50
Taula 14. Paràmetres característics del procés SES 53
Taula 15. Referències de SES amb FORM (selecció).....53
Taula 16. Referències BTA 58
Taula 17. Paràmetres característics del procés Wabio 61
Taula 18. Balanç de masses i energia. Procés Wabio.....61
Taula 19. Referències Wabio 62
Taula 20. Referències del procés Waasa.....65
Taula 21. Paràmetres característics del procés de digestió Ros Roca 68
Taula 22. Referències de Ros Roca a plantes amb digestió i/o compostatge en túnels de RM i residus orgànics (FORM) –selecció-. 70
Taula 23. Referències de Haase a plantes de digestió.....76
Taula 24. Referències d'ArrowBio a plantes de tractament de RM 80
Taula 25. Precipitacions de metalls pesants al reactor anaeròbic IMK (ppm) 83
Taula 26. Referències d'IMK (Bioenergie). 85
Taula 27. Referències d'ISKA a instal·lacions TMB 93
Taula 28. Dades principals del procés TMB de Wehrle, rendiments i balanços per una planta tipus de 30.000 t i 80.000 t per any de RESTA 98
Taula 29. Rendiments del sistema de tractament d'aigües residuals (SBR) a la Planta de demostració de Kahlenberg (Alemanya).....98
Taula 30. Ocupació d'espai del procés TMB de Wehrle per una planta tipus de 30.000 t i 80.000 t per any de RESTA.....98
Taula 31. Costos operatius d'inversió i operació del procés Biopercolat de Wehrle. Capacitats 30.000 i 80.000 t/any 99
Taula 32. Referències de Wehrle Umwelt amb el procés Biopercolat.....99
Taula 33. Referències de plantes de TMB de VKW 109
Taula 34. Referències de plantes de compostatge de FORM de VKW 109
Taula 35. Referències (selecció) de Weser Engineering a instal·lacions de compostatge i tractament mecànic-biològic 111
Taula 36. Referències de Sutco per instal·lacions TMB 113
Taula 37. Referències de Sutco (selecció) per instal·lacions de compostatge de residus orgànics 114
Taula 38. Referències de Sutco (selecció) d'instal·lacions de tractament mecànic dels residus (preparació CDR).....114
Taula 39. Configuracions del procés a diverses de les referències de TMB de Horstmann.....115
Taula 40. Referències de Horstmann a plantes de tractament de RM 117
Taula 41. Referències (selecció) de plantes de compostatge de residus orgànics amb túnels de Horstmann 117
Taula 42. Referències de Gicom a plantes de compostatge de RM i residus verds 120
Taula 43. Procés Herhof. Composició típica del CDR 124
Taula 44. Rendiments del sistema de depuració d'aires del procés Herhof 126
Taula 45. Referències de Herhof.....130
Taula 46. Característiques del CDR. Procés Ecodeco 134
Taula 47. Referències d'Ecodeco a plantes TMB.....136
Taula 48. Composició típica dels lixiviats dels processos de digestió a plantes TMB 137
Taula 49. Composició típica dels lixiviats dels processos de compostatge.....138
Taula 50. Característiques típiques de l'etapa d'ultrafiltració 141
Taula 51. Característiques típiques d'un permeat d'etapa d'ultrafiltració.....142
Taula 52. Principals compostos generats a plantes TMB 146
Taula 53. Taula resum comparativa dels biomedis de tipus orgànic o de tipus inorgànic per biofiltres 150
Taula 54. Composició típica del biogàs 152
Taula 55. Emissions dels tractaments mecànics-biològics 161

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Equip obre bosses.....9
Figura 2. Esquema de principi de separació (seca) per fraccions 9
Figura 3. Esquema de principi de separació amb digestió humida 10
Figura 4. Esquema de principi de percolació amb digestió.....10
Figura 5. Esquema de principi del secat biològic aerobi.....10
Figura 6. Trommels de separació 10
Figura 7. Esquema de funcionament del rastell/trampa de sorra.....13
Figura 8. Vies de tractament i gestió de diferents residus amb el tambor Dano 14
Figura 9. Tambor Dano Mark III de Seghers Keppel Technology 14
Figura 10. Separadors balístics.....15
Figura 11. Separador magnètic tipus overband 16
Figura 12. Separador de corrents de Foucault.....16
Figura 13. Equip òptic de separació automàtica 16
Figura 14. Premsa de bales 18
Figura 15. Equip d'enfardat amb plàstic film 18
Figura 16. Trommel de classificació mecànica i captació de film.....21
Figura 17. Overband – Imant permanent 21
Figura 18. Cabina de selecció manual.....21
Figura 19. Separador automàtic de plàstics.....22
Figura 20. Esquema de procés per planta automàtica de classificació i selecció d'envasos (capacitat 5 t/h).....23
Figura 21. Esquema de procés per planta automàtica de classificació i selecció d'envasos (capacitat 5 t/h).....23
Figura 22. Esquema típic de procés per al tractament del voluminosos 24
Figura 23. Esquema típic de procés VALORGA. Etapa de pretractament 32
Figura 24. Esquema típic de procés VALORGA. Etapes de digestió anaeròbia i deshidratació de digerit.....32
Figura 25. Digestor VALORGA.....32
Figura 26. Procés VALORGA. Maduració i afí del compost 33
Figura 27. Esquema de procés Dranco. Planta de Münster (Alemanya).....35
Figura 28. Esquema de procés Dranco. Planta de Vitòria (Espanya) 36
Figura 29. Balanç de masses del procés Dranco per a una planta de capacitat de tractament de 80.000 t/any RESTA i 75.000 t/any FORM respectivament 37
Figura 30. Digestor de Kompogas. Planta de Roppen (Àustria) per una capacitat de 10.000 t/any.....39
Figura 31. Esquema general del procés Kompogas per tractament de RESTA 40
Figura 32. Balanç de masses tipus del procés Kompogas 41
Figura 33. Balanç d'energia tipus del procés Kompogas.....41
Figura 34. Esquema general del procés Linde-KCA.....44
Figura 35. Esquema digestors Linde-BRV 45
Figura 36. Túnels de compostatge Linde.....46
Figura 37. Compostatge en piles airejades (volteig automàtic) Linde.....47
Figura 38. Mòduls de compostatge intensiu de Linde 47
Figura 39. Planta TMB de Borken (Alemanya). Esquema i balanç de masses del procés.....48
Figura 40. Esquema del procés de digestió SES per a plantes de tractament mecànic-biològic.....51
Figura 41. Esquema digestors SES.....52
Figura 42. Esquema general del procés SES 52
Figura 43. Esquema general del procés BTA (digestió mono-etapa).....54
Figura 44. Esquema general del procés BTA (digestió multi-etapa).....55
Figura 45. Esquema i balanç de masses del procés BTA. Planta de Villacidro (Itàlia).....56
Figura 46. Esquema general del procés Wabio 60
Figura 47. Procés Waasa: Mixseparator® i Twin reactor®.....63
Figura 48. Esquema general del procés Waasa.....64

Figura 49. Esquema del procés Ros Roca. Planta de metanització Växtkraft, Västerås (Suècia). 66
Figura 50. Esquema general de procés metanització Ros Roca....67
Figura 51. Digestors Ros Roca (2 x 3.800 m³) de la planta de metanització a Àvila (Espanya). Capacitat 36.000 t/a....68
Figura 52. Model 3D d'una planta de compostatge amb tambors Ros Roca amb dues unitats (Calvià, Espanya)....69
Figura 53. Construcció tècnica i elements principals del tambor Ros Roca 69
Figura 54. Esquema general del procés Haase....72
Figura 55. Digestor HAASE 73
Figura 56. Sistema VocsiBox® de Haase per al tractament de l'aire de procés. Planta de Münster (Alemanya)....74
Figura 57. Esquema de procés Haase. Planta de Luebeck (Alemanya)....75
Figura 58. Balanç de masses. Planta de Luebeck (Alemanya). Capacitat: 120.000 t/a de RM i 26.000 t/a de fangs EDAR 76
Figura 59. Esquema general de procés ArrowBio 77
Figura 60. Vista general reactors biològics ArrowBio. Planta de Tel Aviv (Israel) 79
Figura 61. Esquema general del procés ArrowBio....79
Figura 62. Vista general dipòsits i reactors biològics IMK 82
Figura 63. Esquema general del procés IMK de Bioenergie 83
Figura 64. Esquema tractament aigües residuals del procés IMK 84
Figura 65. Esquema general del procés ISKA....87
Figura 66. Vista exterior del percolador ISKA 87
Figura 67. Vista interior del percolador 88
Figura 68. Esquema del procés a la planta de Sydney (Austràlia)....89
Figura 69. Diferents configuracions del procés ISKA 91
Figura 70. Esquema de principi del procés Wehrle de percolació....94
Figura 71. Esquema del procés BIOPERCOLAT® 94
Figura 72.Comparació sistemes d'estabilització de RM. Reducció massa vs. Temps de residència 95
Figura 73. Balanç de masses del procés Biopercolat-Percotry de Wehrle 95
Figura 74. Composició de biogàs del procés de percolació de Wehrle durant un període de 61 setmanes (Planta de demostració de Kahlenberg, Alemanya)....96
Figura 75. Voltejadores en piles 100
Figura 76. Esquema túnel compostatge....101
Figura 77. Tambors de compostatge 102
Figura 78. Voltejadora sobre carro, detall i esquema 103
Figura 79. "Kompomax". Vista interior 107
Figura 80. VKW. Sistema "KUM" 108
Figura 81. Planta de Istambul (Turquia). Sistema "KUM" 108
Figura 82. Esquema del sistema d'Oxidació Tèrmica Regenerativa AUTOTHERM de CTP....109
Figura 83. Esquema general planta de compostatge de Weser Engineering 110
Figura 84. Màquina de volteig automàtic a una planta de tractament de digestat (Weser Engineering). 110
Figura 85. Esquema del procés Sutco. Planta d'Erbenschwang (Alemanya), període del 1997 al 2004. 112
Figura 86. Esquema del nou procés a la planta de Sutco a Erbenschwang (Alemanya) 113
Figura 87. Esquema del pretractament mecànic Horstmann a la Planta de Münster (Alemanya)....115
Figura 88. Planta de Gicom a Porto (Portugal) amb túnels de càrrega i descàrrega automàtica. Capacitat: 60.000 t/any de FORM 119
Figura 89. Configuracions generals del procés Herhof....121
Figura 90. Esquema general del procés Herhof 121
Figura 91. Vista general del túnels d'assecat biològic (Planta de Rennerod)....122
Figura 92. Esquema dels túnels Herhof....122
Figura 93. Instal·lació de tractament dels condensats....123
Figura 94. Vista general del equips de separació mecànica posterior al secat biològic. Planta de Rennerod, Alemanya. 123
Figura 95. CDR (tipus "fluff") 124
Figura 96. CDR (tipus "softpellet") 124
Figura 97. CDR (tipus "hartpellet")....124
Figura 98. Esquema de procés (planta de Rennerod, Alemanya)....125
Figura 99. Balanç de masses del procés Herhof. 125
Figura 100. Sistema de depuració de l'aire: Instal·lació d'Oxidació Tèrmica Regenerativa (planta de Rennerod, Alemanya)....126
Figura 101. Esquema del procés de tractament de condensats Herhof....127
Figura 102. Cicles d'aireació en el reactor biològic 127
Figura 103. Esquema de la instal·lació ITS® 131
Figura 104. Vista general pont-grua....131
Figura 105. Descàrrega dels residus 131
Figura 106. Vista del interior de la instal·lació. Descàrrega, trituració i zona de biosecat 132
Figura 107. Zona d'afí i producció de CDR....133
Figura 108. Balanç de masses procés Ecodeco 135
Figura 109. Biofiltre col·locat al sostre de la planta....136
Figura 110. Reactors SBR 138
Figura 111. Principi de funcionament BRM amb membranes externes i submergides 139
Figura 112. Esquema d'un procés BRM (Biomembrat® de Wehrle Umwlet)....139
Figura 113. Classificació de membranes 143
Figura 114. Instal·lació de tractament d'efluents de digestió humida amb membranes UF/OI....143
Figura 115. Diagrama de flux del procés Biodestil® de MP....144
Figura 116. Esquema rentador de gasos 147
Figura 117. Vista general biofiltres a una planta de tractament de RM....148
Figura 118. Llit ceràmic ordenat tipus panell d'abella (a l'esquerra) i desordenat tipus muntures (a la dreta) 151
Figura 119. Esquema d'un sistema d'Oxidació Térmica Regenerativa 151
Figura 120. Esquema d'un sistema de desulfuració biològica amb *bioscrubber* 154
Figura 121. Esquema d'un sistema de desulfuració amb scrubber i bioreactor. 154
Figura 122. Esquema d'un sistema de filtració de siloxans amb regeneració 159
Figura 123. Sistema de control de combustió de barreja pobre LEANOX de Jenbacher....159
Figura 124. Esquema d'un sistema de postcombustió dels gasos d'escapament per a la reducció de les emissions de CO i hidrocarburs....160

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.

L'estudi bàsic de les tecnologies de tractament té com a objectius identificar i caracteritzar les diferents tecnologies de tractament actives i disponibles a nivell industrial que es poden aplicar al nou model de gestió dels residus municipals a Catalunya, aplicant els criteris definits a l'Estudi Tècnic del Marc Normatiu.

Per les diferents tecnologies de tractament es presenten les alternatives d'aplicació individual o conjunta de les tecnologies identificades, identificant en cada cas les solucions o configuracions més recomanables d'acord amb l'estat de l'art i els objectius del tractament (maximitzar la recuperació de materials, estabilització de residu amb destí a dipòsit controlat, producció de compost, producció de biogàs, producció d'una fracció combustible, etc.) per les següents fraccions dels residus municipals[1]:

- Fracció orgànica de recollida selectiva (FORM).
- Fracció RESTA de recollida selectiva.
- Envasos i residus d'envasos.
- Rebuig.
- Residus voluminosos.
- Residus comercials[2].

L'estudi identifica i caracteritza les diferents tecnologies de tractament agrupades per tipus procés de tractament al que corresponen amb els següents continguts bàsics:

- Tractaments mecànics (triatge de RM/RESTA, classificació i selecció d'envasos i residus voluminosos).
    - Obertura de bosses.
    - Separació per mida.
    - Separació per densitat.
    - Separació per camp elèctric i magnètic.
    - Separació per sistemes òptics.
    - Compactació, premsat i embalat.
    - Trituració.
- Tractaments biològics.
    - Tecnologies de digestió anaeròbia.
        - Anàlisi de paràmetres tècnics. Definicions i criteris bàsics:
            - Pretractaments previs de les fraccions orgàniques.
            - Contingut de sòlids en la suspensió (digestió en via humida o digestió en via seca).
            - Etapes de digestió (digestió en una o dues etapes).
            - Temperatures de treball (règim mesòfil o termòfil).
            - Temps de residència.
            - Mida de partícula.
            - Sistemes d'agitació i escalfament de la suspensió.
            - Sistemes de deshidratació.
            - Codigestió.
            - Digestions amb sistemes de percolació.
        - Anàlisi d'una selecció de les principals tecnologies al mercat.
    - Tecnologies de compostatge / estabilització aeròbia / secat biològic aerobi o "bio-drying".
        - Anàlisi tècnic dels principals sistemes de compostatge / estabilització aeròbia / "bio-drying":
            - Piles.
            - Túnels de compostatge.
            - Tambors de compostatge.
            - Compostatge en nau tancada amb volteig automàtic.
            - Estabilització en trinxeres.
            - "Bio-drying".
        - Anàlisi d'una selecció de les principals tecnologies al mercat.

[1] La Llei 15/2003, de 13 de juny, de modificació de la Llei 6/1993, del 15 de juliol, reguladora dels residus defineix *residus municipals* com: "residus generats als domicilis particulars, els comerços, les oficines i els serveis, i també els que no tenen la consideració de residus especials i que per llur naturalesa o composició es poden assimilar als que es produeixen en els dits llocs o activitats. Tenen també la consideració de residus municipals els residus procedents de la neteja de vies públiques, zones verdes, àrees recreatives i platges; els animals domèstics morts; els mobles, els estris i els vehicles abandonats; els residus i els enderrocs procedents d'obres menors i reparació domiciliària."

[2] La Llei 15/2003, de 13 de juny, de modificació de la Llei 6/1993, del 15 de juliol, reguladora dels residus defineix *residus comercials* com: "residus municipals generats per l'activitat pròpia del comerç al detall i al major, l'hoteleria, els bars, els mercats, les oficines i els serveis. Són equiparables a aquesta categoria, als efectes de la gestió, els residus originats a la indústria que tenen la consideració d'assimilables als municipals d'acord amb el que estableix aquesta Llei."

La caracterització de cada tecnologia de tractament[3] de residus contempla, de forma general, els següents punts:

- Descripció general de la tecnologia.
- Descripció del procés.
- Anàlisi dels paràmetres tècnics més rellevants (capacitat de tractament, necessitats d'espai, consums energètics, rendiments, balanços de masses i energia, etc.).
- Valoració dels impactes ambientals (generació d'aigües residuals, olors, soroll, residus, etc.).
- Llistat de subministradors i referències a Europa.
- Rang d'inversions i costos d'operació en funció de la capacitat de tractament (si disponible).
- Resum. Conclusions.

Tanmateix, s'inclou un anàlisi de les tecnologies de tractament d'aigües residuals, aires i biogàs aplicables a les plantes de tractament mecànic-biològic de residus municipals.

A partir de les dades recollides en aquest estudi, es realitza una comparativa de les diferents tecnologies seleccionades i s'exposen els criteris sobre els principals avantatges o inconvenients tècnics i/o econòmics dels diferents conceptes a partir de la informació facilitada i/o disponible dels tecnòlegs o subministradors de les tecnologies.

D'altra banda, com a document independent de l'estudi de tecnologies, la part B de l'annex 3 inclou un estudi de les tecnologies de tractament tèrmic, el qual s'estructura de la següent manera:

- Tractaments tèrmics[4] (desenvolupat a l'annex 3 part B de l'estudi de tecnologies).
  - Tecnologia d'incineració.
    - Anàlisi de paràmetres tècnics. Definicions i criteris bàsics:
      - Característiques dels residus.
      - Pretractaments previs dels residus (assecatge i bioassecatge).
      - Condicions i temperatures de treball.
      - Forns d'incineració (graella, rotatiu, llit fluïditzat).
    - Referències a Espanya i a Europa d'una selecció dels principals tecnòlegs.
  - Tecnologia de pirròlisis.
    - Anàlisi de paràmetres tècnics. Definicions i criteris bàsics:
      - Característiques dels residus.
      - Pretractaments previs dels residus.
      - Condicions d'operació (temperatura, oxígen, pressió, etc).
      - Forns de pirròlisis (tubulars, rotatius)
    - Anàlisi d'una selecció de les principals tecnologies al mercat.
  - Tecnologia de gasificació.
    - Anàlisi de paràmetres tècnics. Definicions i criteris bàsics:
      - Característiques dels residus.
      - Pretractaments previs dels residus.
      - Condicions d'operació (temperatura, oxígen, pressió, etc).
      - Gasificadors (llit fix, fluïditzat)
    - Anàlisi d'una selecció de les principals tecnologies al mercat.
  - Tecnologia de gasificació per plasma.
    - Anàlisi de paràmetres tècnics. Definicions i criteris bàsics:
      - Característiques dels residus.
      - Pretractaments previs dels residus.
      - Condicions d'operació (temperatura, oxígen, pressió, etc).
      - Tecnologies de plasma (arc de plasma, plasma de ràdiofreqüència, plasma en corrent alterna, plasma de microones)
    - Anàlisi d'una selecció de les principals tecnologies al mercat.

L'estudi inclou un anàlisi de les Millors Tècniques Disponibles (MTD's) aplicables d'acord al *"Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment*

[3] El present estudi recull una selecció de les principals tecnologies amb referències a escala industrial, que utilitzi equips estàndard i tecnologies àmpliament utilitzades a Europa. No es consideren tecnologies emergents i/o que només es trobin actualment a escala de planta pilot com, per exemple, la tecnologia Oxalor del Grup Oxalor o la tecnologia CSP de Ambiensys.

[4] El present estudi recull l'anàlisi de les tecnologies madures en el tractament de residus municipals, com aquelles de maduresa molt més limitada i altres tecnologies emergents.

Industries" 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 es centra sobre la afectació de les MTD's sobre les tecnologies de tractament i el control de les emissions dels processos.

2. TRACTAMENTS MECÀNICS.

El present apartat presenta les diferents tècniques de tractament mecànic d´aplicació per les diferents fraccions dels residus municipals i, especialment, al tractament mecànic-biològic de la fracció RESTA.

Els objectius del tractament mecànic a les plantes de tractament mecànic-biològic poden ser:

- Extreure els materials impropis voluminosos o que poden produir problemes als processos posteriors continguts als residus d'entrada.

- Maximitzar la recuperació de materials reciclables, dins d'uns paràmetres d'inversió i costos operatius raonables. Tots els materials recuperats hauran de sortir amb un grau de compactació adequat per optimitzar el cost del transport.

- Preparar i acondicionar els residus per al procés biològic posterior (digestió via seca o humida, compostatge o estabilització aeròbia de la matèria orgànica o biosecat).

- Refinament i acondicionament del fluxos de sortida dels processos.

El grau de tractament mecànic per a la separació i classificació dels residus depèn de diversos factors específics en cada cas com:

- el tipus de residu d'entrada,
- el contingut de materials recuperables i reciclables del residu,
- els requeriments i destí dels materials de sortida,
- la quantitat requerida de recuperació i reciclatge dels materials.

Com a conseqüència del factors i objectius específics en cada cas, els diferents processos TMB[5] poden presentar tractaments mecànics més o menys complexes i intensius.

[5] Tractament Mecànic Biológic.

2.1. Justificació i criteris d'aplicació dels processos de tractament mecànic a plantes TMB.

El present apartat té com a objectiu identificar i seleccionar els processos més adients per al triatge de la fracció RESTA.

Per criteris de reducció de la inversió, les plantes de triatge tradicionals han optat fins ara per una sèrie de processos de triatge basats en la selecció manual amb un grau d'automatització mínim (principalment metalls).

Un cop en funcionament, les despeses d'operació passen a tenir un pes molt important, i donat els baixos rendiments de la selecció manual, el cost del personal de triatge no compensa l'ingrés per als materials recuperats, pel que a la pràctica aquestes plantes acaben sent operades amb el personal de selecció imprescindible, amb un grau de recuperació de materials molt baix i amb una quantitat de rebuig sortint de la planta molt elevada.

Alguns dels objectius bàsics que es poden assolir són els següents:

- Minimitzar en la mesura del possible el triatge manual, assegurant que les àrees de selecció manual disposin d'unes condicions seguretat i higiene del personal adequades.
- Separar adequadament la matèria orgànica continguda als residus, de cara al seu tractament biològic posterior.
- Incrementar significativament el percentatge de recuperació dels materials presents als residus respecte a les plantes de triatge tradicional mitjançant equips de separació automàtica.
- Com a conseqüència dels dos punts anteriors, disminuir el rebuig sortint de planta.

Per tal d'assolir els objectius anteriors, es poden establir uns criteris bàsics de disseny que a continuació es desglossen amb més detall, com són:

- Nombre i capacitat unitària de les línies.
- Separació de voluminosos.
- Obertura de bosses.
- Separació de la part orgànica.
- Classificació dels materials valoritzables.
- Recuperació dels materials valoritzables.

2.1.1. Nombre i capacitat de les línies.

El nombre i la capacitat de les línies a instal·lar dependrà, entre d'altres, d'una sèrie de factors que a continuació s'enumeren:

- Estacionalitat en la generació de residus.
- Règim d'operació de la planta.
- Limitacions de capacitat d'alguns dels equips, entre ells, per exemple, els equips obrebosses i els separadors òptics d'envasos.
- Rendiments de separació de materials, superiors quan la vena de residus és menor (és a dir, a menor quantitat horària d'entrada sempre i quan els equips estiguin suficientment sobredimensionats).

2.1.2. Separació de voluminosos.

La separació dels elements voluminosos, que per mida o característiques físiques poden perjudicar etapes posteriors del procés de triatge, tradicionalment es venen realitzant mitjançant una selecció manual a cabina.

Una alternativa a aquesta disposició passa per la implantació d'un trommel de voluminosos, amb una malla suficient per permetre separar les bosses (enfonsat) dels voluminosos. En general, el pas de malla es troba al voltant dels 300-350 mm per permetre recollir totes les bosses amb residus valoritzables (matèria orgànica i envasos).

És recomanable que el trommel de voluminosos disposi igualment d'un punt de selecció manual anterior a ell, ja que la classificació per mida no evita el pas juntament amb el

corrent de bosses d'elements indesitjables per als processos posteriors com és el cas de bateries, barres de ferro, etc.

Per altra banda, el corrent de voluminosos sortint del trommel pot arrossegar cartrons de grans dimensions, pel que pot ser recomanable una segona tria del cartró per a la seva recuperació de la resta de voluminosos.

2.1.3. Grau d'obertura de bosses.

Un dels aspectes més importants a l'hora de dissenyar una instal·lació de triatge mecànic, és el d'assolir un grau d'obertura elevat de les bosses de residus, per així poder recuperar al màxim els materials continguts al seu interior.

Les alternatives per a obrir les bosses de residus són dues:

- Trommel amb pinxos trenca bosses. Tradicionalment és l'equip instal·lat a les plantes de triatge de RESTA ja que en un equip es combinen les dues funcions, obrir bosses i classificar materials per mida. És una solució robusta i fiable, però té una limitació en el rendiment d'obertura, que difícilment supera el 85%.

- Equip obre bosses. Molt utilitzats en plantes d'envasos, existeixen pocs subministradors amb referències en plantes de tractament de RESTA. El grau d'obertura de bosses és elevat, entorn al 95%, però tenen una limitació de capacitat entre 15 i 20 t/h.

Font: Tarsus

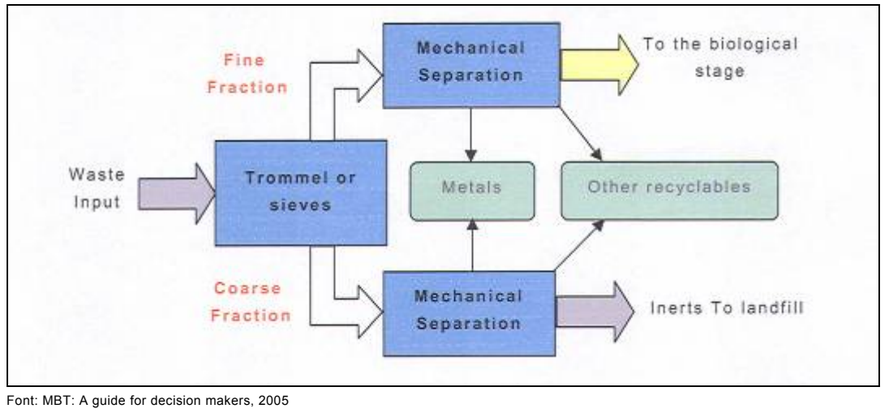
Figura 1. Equip obre bosses

2.1.4. Preparar i condicionar els residus per al procés biològic posterior. Separació de la part orgànica.

La separació mecànica per a preparar i condicionar els residus per al procés biològic posterior és una etapa crítica per a garantir el funcionament del procés.

Els diferents processos TMB de digestió i/o per a la producció final d'un bioestabilitzat i/o compost es poden dividir bàsicament en tres tipus de pretractaments mecànics amb el objectiu de maximitzar la separació i el contingut de la matèria orgànica al procés biològic:

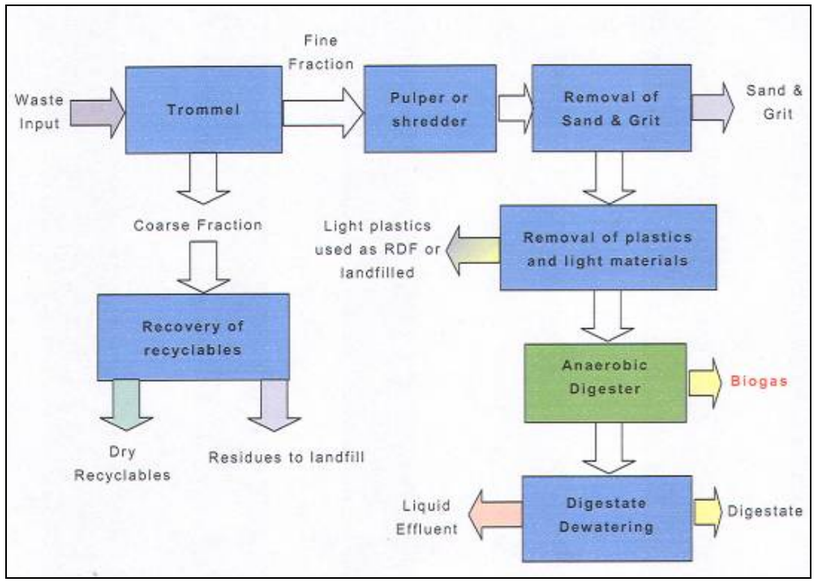
A. Separar el residu entrant en una fracció gruixuda i una fracció fina que conté la major part de la fracció orgànica. Aquesta separació es realitza normalment en un trommel. Posteriorment, es realitza habitualment una recuperació i extracció posterior de materials en ambdues corrents. Aquest és el cas de les tecnologies basades, per exemple, en digestió seca o en estabilització aeròbia o compostatge.



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 2. Esquema de principi de separació (seca) per fraccions

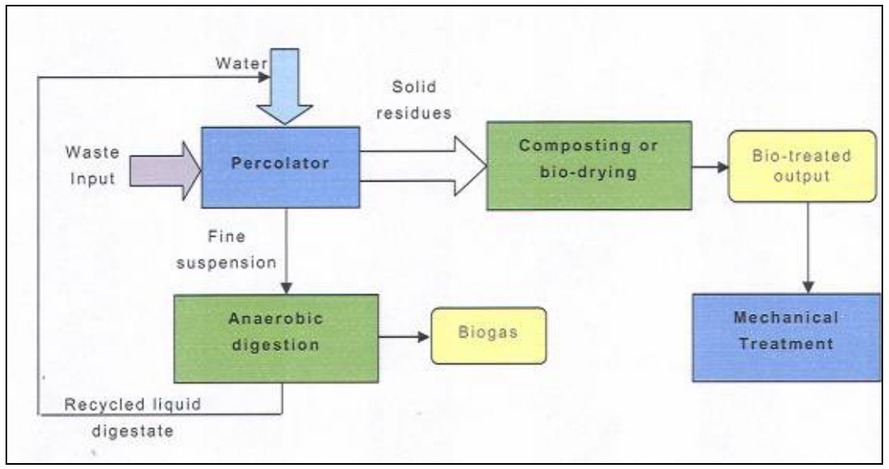
B. Separar les diferents fraccions de residus a partir de la diferent densitat i flotabilitat dels components en aigua (separació densimètrica). Aquest es el cas de les tecnologies basades en digestió humida.



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 3. Esquema de principi de separació amb digestió humida

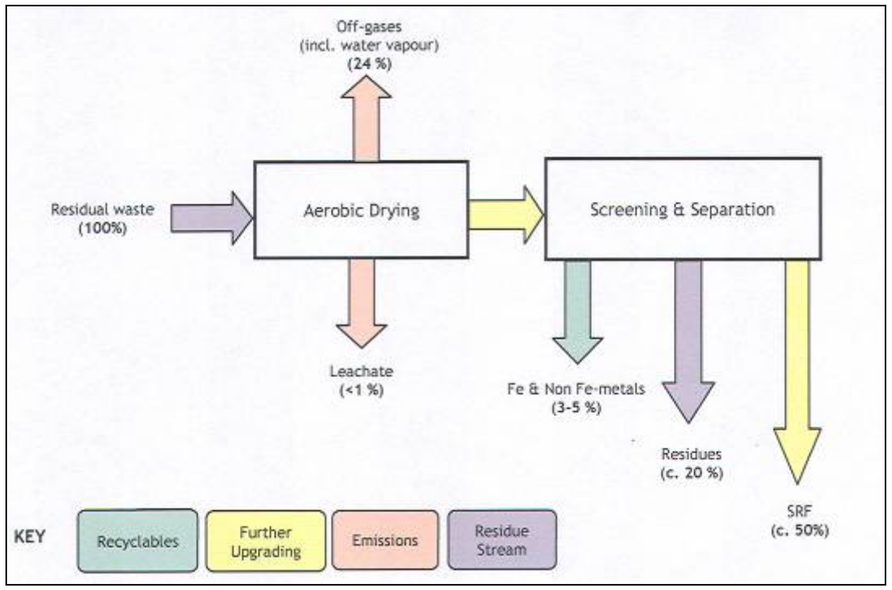
C. Utilitzar aigua per a "rentar" la fracció orgànica més biodegradable del residu ("percolar"). Aquest es el cas de les tecnologies basades en percolació i digestió anaeròbia del percolat.



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 4. Esquema de principi de percolació amb digestió

En el cas del processos TMB de secat biològic aerobi o biosecat per a la producció d'un CDR o bioestabilitzat segons els casos, el pretractament mecànic es basa en una trituració del residu d'entrada a una grandària inferior a 200-300 mm, segons la tecnologia, per enviar-se posteriorment al secat biològic aerobi.



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 5. Esquema de principi del secat biològic aerobi

2.1.4.1. *Classificació per mida: Trommel.*

Font: Masias

Figura 6. Trommels de separació

Algunes consideracions per seleccionar el pas de malla del trommel són les següents:

- Limitació de mida del material al procés de tractament biològic d'aquesta fracció.

  En el cas d'una digestió anaeròbia, les principals tecnologies demanen malles no superiors als 70 mm, i alguns d'ells passen per una etapa de trituració prèvia a entrada a digestió a mides de 40 mm.

  En el cas d'un compostatge o estabilització aeròbia, l'òptim es podria trobar en una malla al voltant de 80-100 mm, i a mesura que disminueix la malla el percentatge arrossegat a la fracció no garbellada va augmentant. En principi, amb malles superiors a 70–80 mm, una part dels materials valoritzables (bricks petits, fèrrics i alumini) es trobaria a la corrent orgànica.

  En el cas d'una percolació la malla és de 90–150 mm segons la tecnologia.

- Grau de contaminats de la matèria orgànica seleccionada. A mesura que la malla augmenta, la quantitat de contaminats al residu orgànic seleccionat augmenta. Els més problemàtics són el vidre (difícil de separar amb processos mecànics via seca) i els metalls (fàcilment separables amb equips automàtics).

- Contingut de matèria orgànica a la fracció no garbellada. L'òptim es trobaria en una malla al voltant de 100 mm, i a mesura que es disminueix la malla el percentatge d'orgànica arrossegat a la fracció no garbellada va augmentant.

- Lligat a l'anterior caldria tenir en compte el destí del residu no separat (rebuig de planta). En el cas de que el rebuig vagi destinat a valorització energètica minimitza el problema de la quantitat d'orgànics continguts en ell.

- En el cas d'un trommel amb dos passos de malla, el primer permet separar els materials més fins (p.e. a 40 mm) i el segon de malla p.e. a 80 mm permet obtenir separar la major part de la fracció orgànica. Com a inconvenient d'aquesta opció és el possible arrossegament d'una part de la fracció orgànica amb la malla de fins, a més de la possibilitat d'obturacions als forats al passar tot el residu per una malla tan petita.

2.1.4.2. <u>Separació d'inerts. Via seca.</u>

La fracció fina, amb la major part del contingut de matèria orgànica, procedent del trommel pot contenir un percentatge molt elevat d'impropis (en base humida), dels quals fins al voltant del 50% poden ser elements altament abrasius (com vidre i restes de materials ceràmics).

Pel que respecta a l'existència en el mercat de sistemes de separació via seca d'aquests elements, actualment s'estan provant diferents equips, però sense que cap d'ells hagi donat fins el moment resultats suficientment satisfactoris, principalment per que la corrent separada arrossega una part important de fracció orgànica.

Entre els possibles equips de separació d'inerts via seca destacaríem:

- Cinta transportadora "balística".
- Taula densimètrica.
- Garbells d'estrella.
- Pas de malla de fins a trommel.

Una dificultat de la separació per granulometria és que els inerts s'acumulen a la fracció de menor grandària amb la matèria orgànica el que pot provocar problemes per acumulació d'inerts als digestors.

Una dificultat en la separació balística és que el comportament balístic de la major part dels inerts és similar a la de, per exemple, patates, taronges...

Una dificultat de la separació per densitats és que la matèria orgànica humida té una densitat similar a la dels inerts.

Les tecnologies de digestió seca poden admetre graus d'inerts superiors a les tecnologies humides, tot i que és d'esperar un elevat desgast en els equips de trituració, bombeig i transport de sòlids, el que implicaria uns costos de manteniment elevats.

En el cas del compostatge o estabilització aeròbia, la problemàtica del vidre i els materials ceràmics continguts en la fracció a compostar no suposa un problema important de cara al desgast dels equips, i poden ser fàcilment separables a l'etapa final de refí.

2.1.4.3. <u>Pretractament de la fracció orgànica. Via humida.</u>

Als processos amb digestió humida, el pretractament humit comença amb un equip barrejador/homogeneïtzador denominat pulper a on es prepara una suspensió de la fracció orgànica procedent d'enfonsats de trommel, amb una grandària inferior als 70 mm,

mitjançant un barrejat enèrgic amb aigua de procés recirculada des del final del procés de digestió, i continua amb un equip d'extracció per garbellat i sedimentació.

2.1.4.3.1. Pulpers.

Els pulpers són equips de pretractament mecànic procedents de la indústria de la fabricació de pasta de paper.

Les primeres aplicacions d'aquests equips en el tractament de residus van ser encaminades a la maceració amb líquid dels residus municipals, com pas previ al seu premsat i deshidratació. En aquest sentit aquests equips actuaven literalment com a trituradors gegants.

En el procés de fabricació de polpa, una segona generació d'aquests equips va ser dedicada a facilitar l'extracció de les restes llenyoses no homogeneïtzades després de la formació de la pasta. Aquests segons equips van ser anomenats Hydra-pulpers.
L'equip utilitzat a diverses tecnologies de digestió humida pertany a aquest tipus d'aplicacions especials dels Hydra-pulper (homogeneïtzador-disolutor).

Constructivament, el pulper és un equip metàl·lic d'acer, de secció circular i alçada cilíndric/tronc-cònic, equipat amb un agitador vertical especialment dissenyat per a treballar amb la matèria orgànica procedent del residu, molt carregada d'elements impropis, no orgànics, plàstics, petites peces de metall, tetrabricks petits, piles, pedres i una certa quantitat de sorres, materials tots ells molt abrasius, efecte contra el qual s'ha de protegir principalment aquest equip.

Aquest equip treballa en seqüència (funcionament tipus "batch"), per tant, per garantir un tractament en continu del residu d'entrada s'han de combinar diverses unitats, alimentades mitjançant un sistema de distribució amb capacitat de seleccionar mitjançant seqüència programada, els pulpers de la qual ha de ser omplert en cada moment.

La barreja residu / aigua de procés ha de romandre a l'interior del pulper de l'ordre de, com a mínim, 40 – 45 minuts, dividits en tres passos principals:

- Alimentació amb residu orgànic i aigua de procés.
- Barreja i suspensió.
- Evacuació.

Durant la mateixa, l'agitador engendra potents forces de cisalladura que provoquen el trencament dels teixits orgànics tous. D'aquesta manera, la posta en suspensió dels residus no esmicola els elements indesitjables tals com ossos, plàstics, piles o tèxtils que podrien trobar-se entre els residus.

En canvi, si s'esmicola la matèria orgànica de fàcil degradació, desagrega els grumolls, aconsegueix una suspensió aquosa homogènia i augmenta la superfície de contacte facilitant així la accessibilitat dels microorganismes durant el procés de digestió anaeròbia.

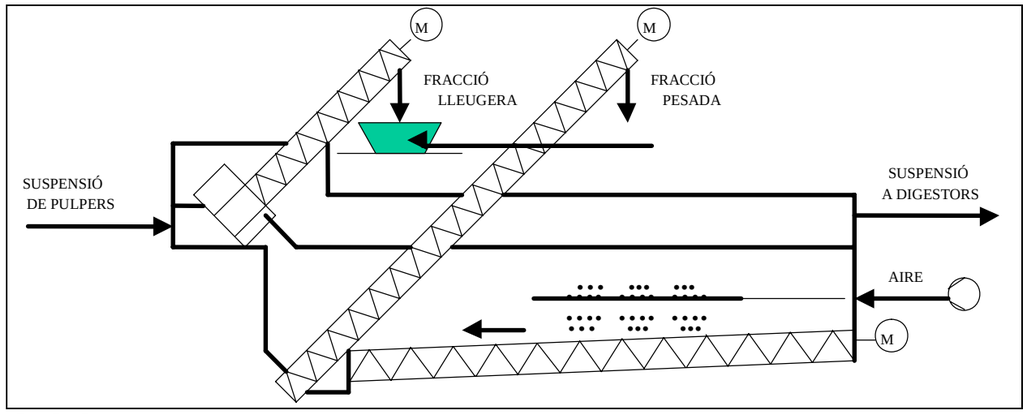
Una vegada finalitzat el procés de suspensió s'extrau la barreja i es dirigeix al sistema de separació d'impureses. El buidat dels pulpers fins el sistema de separació de impureses és per gravetat, sense necessitat de bombes, però regulant el cabal mitjançant un cargol transportador.

2.1.4.3.2. Sistema d'extracció d'impureses.

La separació de les impureses com plàstics, pedres, vidres, ossos i terres, es realitza mitjançant un sistema automàtic que inclou un garbellat humit de gruixos i una sedimentació i extracció de fins.

Com s'ha indicat anteriorment, és molt important eliminar totes les impureses per a garantir una digestió sense problemes (sense sedimentació ni obstrucció de canonades o intercanviadors de calor), moderats costos de manteniment (reducció d'abrasió) i un producte final de qualitat.

La suspensió procedent dels pulpers travessa longitudinalment un sistema d'extracció d'impureses format per un recipient d'acer inoxidable integrat habitualment per dos equips diferents: un garbell amb rastell netejador i un sedimentador. Es mostra a continuació un esquema típic del sistema.



Font: Ros Roca

Figura 7. Esquema de funcionament del rastell/trampa de sorra

En aquest cas, la suspensió procedent dels pulpers passa primer a través del garbell cilíndric muntat de forma inclinada respecte a la direcció de flux. A l'eix central interior del garbell hi ha muntats una premsa–cargol i un rastell netejador. Aquest garbell està format per un conjunt de rodells d'acer inoxidable de secció rectangular, muntats en una armadura amb una separació entre ells de 15-30 mm. La distància entre ells i el nombre de rodells que sumen la longitud final del cilindre estan calculats segons la proporció d'impureses (i la granulometria de les mateixes) que contingui el residu d'entrada. D'aquesta manera es determina la superfície de tamisat efectiva. L'angle d'inclinació i la distància de separació entre les barres determinen la grandària de discriminació efectiva.

L'angle d'inclinació del garbell ve també limitat per les característiques funcionals del sistema de neteja i extracció del material que queda retingut al garbell. A diferència de les reixes de desbast tradicionals, a on les barres es situen en posició vertical, en aquest equip les barres es situen horitzontalment respecte a la direcció de flux i, en aquest cas, la inclinació té una certa importància per a la grandària de discriminació efectiva i la velocitat de pas a través del tamís.

La premsa–cargol transporta la fracció garbellada fora del recipient, mentre la compacta i la deshidrata. L'aigua extreta al premsat es recull en una càmera col·lectora i torna al procés a través d'un conducte de tornada.

El material extret té un contingut en matèria seca a l'entorn del 30 – 33%.

La suspensió amb partícules més petites de 15 – 30 mm travessa el garbell i entra posteriorment en un sedimentador.

Les partícules que es van dipositant al fons són transportades contra la direcció del flux de la suspensió mitjançant un cargol horitzontal, fins una arqueta de recollida a on s'extreuen mitjançant una altra premsa–cargol inclinada. Al igual que l'anterior, aquest element compacta el material extret i el deshidrata fins a un contingut en matèria seca entre el 60 i el 65 %.

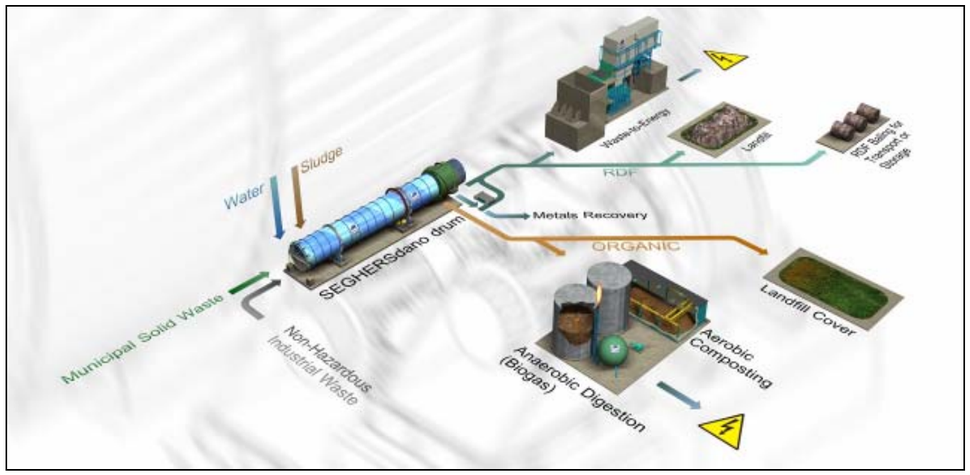
Per a evitar una pèrdua de matèria orgànica que queda adherida a les premses cargol durant el procés de transport/compactació, aquestes s'esbandeixen periòdicament mitjançant un circuit específic amb aigua de procés i controlat de forma automàtica.

Una cinta transportadora s'encarrega de transportar el material separat de les dues fraccions fins a un contenidor.

El procés de sedimentació es facilita mitjançant un sistema d'aireació de la suspensió injectant aire mitjançant un bufador a través d'una graella de canonades de material plàstic, disposada en sentit longitudinal a la paret del lateral del tanc. Aquest bombolleig de l'aire trenca possibles gradients de viscositat que dificulten la deposició de partícules de sorra fines i la separació de la matèria orgànica adherida als inerts. No obstant, el bombolleig no ha de ser tan intens que ocasioni la formació d'escumes.

2.1.4.4. Tambors de pretractament.

Existeixen al mercat alguns equips de pretractament i condicionament dels residus previ al seu tractament final bé sigui per a la recuperació de materials, condicionament de la fracció orgànica prèvia al seu tractament biològic o la producció d'una fracció combustible (CDR).



Font: Seghers Keppel Technology

Figura 8. Vies de tractament i gestió de diferents residus amb el tambor Dano

Per exemple, el tambor DANO[6] és un equip cilíndric horitzontal rotatiu[7] construït en acer inoxidable, que automàticament tritura, barreja, condiciona i classifica el residu (amb un trommel integrat) on es poden obtenir tres tipus de corrents:

- Una fracció seca, que consisteix bàsicament de materials no putrescibles (paper, plàstics, etc.) amb un elevat poder calorífic.

- Una fracció humida, de tipus orgànic que conté principalment els materials putrescibles.

- Una fracció amb elevat contingut en metalls fèrrics i no fèrrics.

La rotació del tambor va trencant els components més tous per la col·lisió i fricció del material amb les parets del tambor i amb la mateixa barreja dels residus.

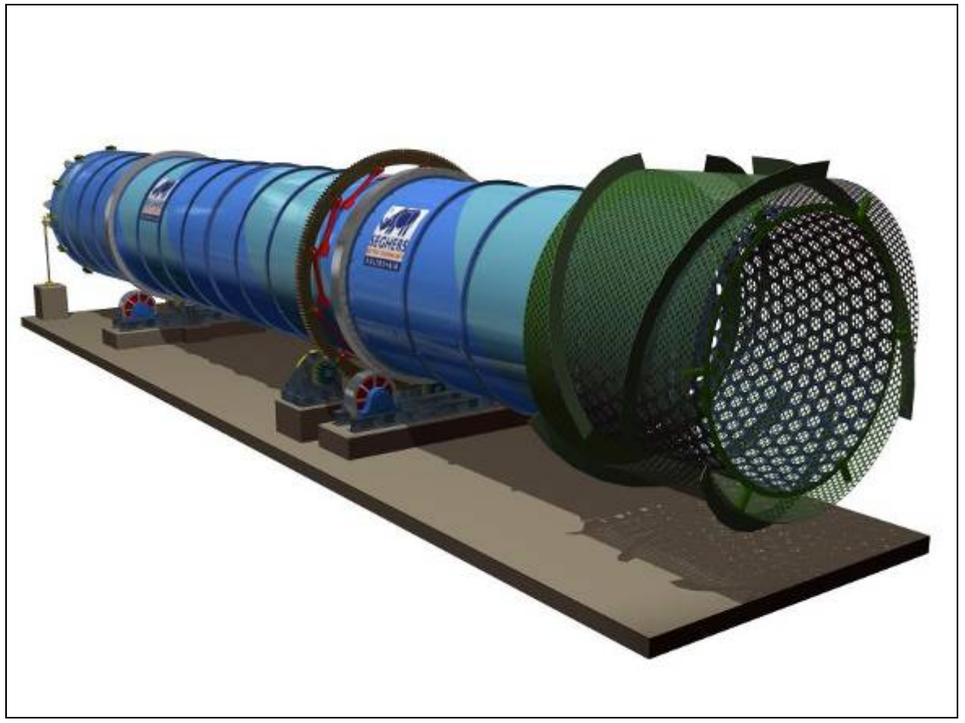


Figura 9. Tambor Dano Mark III de Seghers Keppel Technology

Les aplicacions típiques del tambor DANO són les següents:

- Reducció del volum (estacions de transferència, dipòsits controlats), com a conseqüència de la pulverització del residu al tambor, amb el que la densitat aparent del residu augmenta per un factor de 2 ó 3.

- Separació (mitjançant un trommel integrat) i recuperació posterior de materials com metalls fèrrics i no fèrrics.

- Pretractament i condicionament previ al tractament biològic (digestió anaeròbia o compostatge) gràcies a la rotació del tambor que va trencant els components més tous per la col·lisió i fricció del material amb les parets del tambor i amb la mateixa barreja dels residus. Segons la humitat del residu d'entrada es pot afegir aigua (fins aprox. un 10%) per a facilitar el trencament del paper i cartró. Amb això s'obté una fracció orgànica, homogènia (inferior a 80 mm) amb un contingut d'humitat entre un 55-60% que accelera el inici del procés biològic posterior.

  - Digestió anaeròbia.

    La presència de paper a la fracció orgànica pot millorar el procés de digestió anaeròbia i augmentar la producció de biogàs així com reduir el consum relatiu de floculants.

  - Compostatge, post-compostatge i bioestabilització.

    La reducció selectiva de la grandària dels materials putrescibles/compostables minimitza la contaminació de la fracció orgànica a tractar aeròbicament. La presència de paper (font de carboni) a la fracció orgànica equilibra el rati Carboni/Nitrogen.

- Condicionar l'alimentació per instal·lacions de valorització energètica obtenint-ne a la fracció gruixuda un material combustible homogeneïtzat, CDR, tipus floc. En cas de que el procés es centri en la obtenció d'un CDR, és recomanable no afegir o afegir una quantitat mínima d'aigua al tambor per a obtenir una major fracció combustible (el paper i cartró aniran llavors a valorització energètica en lloc de compostatge o digestió).

[6] De l'empresa Seghers Keppel Technology.
[7] Cada tambor Dano Mark III té una longitud de 24 metres i diàmetre interior de 3,8 metres. La capacitat de l'equip és de 20 t/h en operació contínua.

2.1.5. Classificació dels materials valoritzables.

L'alternativa tradicional per a la classificació de les fraccions potencialment valoritzables passa per una classificació per mida.

Donat el increment dels darrers anys en la quantitat d'envasos diferents (tant en forma com en dimensions), es fa cada vegada més difícil tipificar el nombre i pas de les malles adequades per una bona separació de materials.

En aquest cas, una possibilitat és un trommel amb múltiples passos de malla, p.e. un per l'orgànica, un segon per envasos petits (principalment llaunes i envasos plàstics petits) i, opcionalment, una tercera malla per als envasos grans (ampolles i garrafes).

El que seria una adequada solució per dividir els fluxos, presenta un problema de nombre de corrents que es generarien per poder aplicar p.e. sistemes de separació automàtica.

A una planta de triatge de fracció RESTA, el material de les malles grans vindria "contaminat" amb altres fraccions que dificulten la separació dels materials. Aquest inconvenient s'incrementa com més gran sigui el pas de malla escollit.

Com a alternativa a aquest esquema tradicional, a les plantes més avançades a nivell europeu s'està començant a aplicar un sistema de classificació de materials per forma en comptes de per mida, els sistemes mal anomenats balístics.

Figura 10. Separadors balístics

El procés consisteix en una separació prèvia de la part orgànica en un trommel, i la posterior separació de la resta no orgànica en una taula inclinada, que dividirà el flux en dues corrents:

- Elements rodants/pesants, és a dir, envasos plàstics, metàl·lics, tetrabricks, així com el vidre no garbellat al trommel.

- Elements plans/lleugers, principalment paper cartró, tèxtils, cel·lulosa i plàstic film de les bosses (PEBD) i embalatges varis.

La base del separador també pot tenir unes perforacions de diferent pas de malla (p.e. 80 mm) per la que cau part de la matèria orgànica adherida als inerts durant el tractament al propi separador i pel moviment d'aquest.

D'aquesta manera s'aconsegueix una separació més efectiva, amb baix grau de "contaminació" i s'agrupa la totalitat dels envasos en un únic corrent, és a dir simplifica el nombre de fluxos de procés.

2.1.6. Recuperació dels materials valoritzables i/o amb valor.

Per a la recuperació dels materials valoritzables i/o amb valor de venda al mercat (p.e. envasos i paper cartró) a cadascuna de les corrents generades es pretenen assolir dos dels objectius indicats anteriorment per,

- Minimitzar el triatge manual.

- Incrementar significativament el percentatge de recuperació dels materials valoritzables presents als residus.

Els sistemes de selecció automàtica específics per a cada material o fracció es poden dividir en:

- Per als metalls fèrrics, separadors magnètics tipus *overband*.

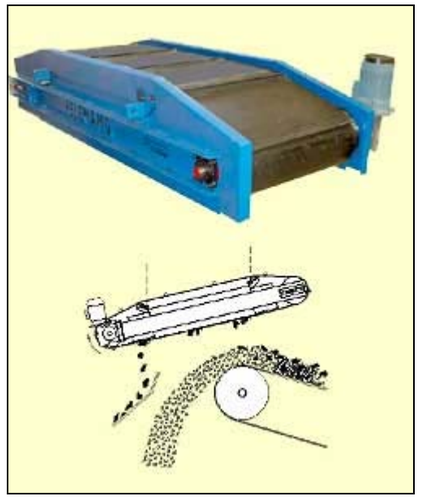


Figura 11. Separador magnètic tipus overband

- Per als metalls no fèrrics (llaunes alumini i bricks), separadors per corrents de Foucault. Per a la separació entre aquestes fraccions, garbells de malla elàstica.

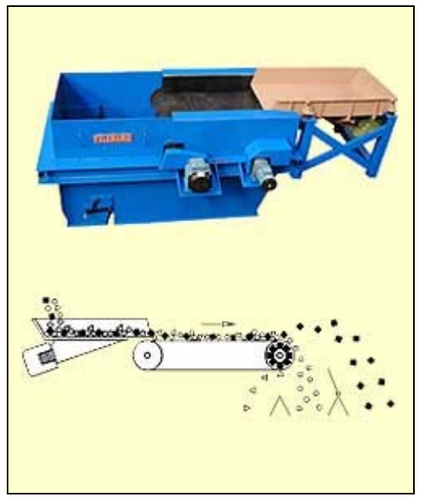


Figura 12. Separador de corrents de Foucault

- Per al plàstic film (PEBD), sistemes de captació amb aspiració automàtica. Aquest material, més que pel seu valor de venda al mercat, donat que el seu volum és relativament important, es retira per facilitar la separació de la resta de fraccions amb valor.

- Per als envasos plàstics (PEAD, PET, i mescla), equips de separació automàtica per infraroig. Dins d'aquesta, un mateix equip pot realitzar la separació de PE natural (garrafes d'aigua) de PE color (ampolles de llet, etc.).

- Per a la mescla de paper-cartró, equips de separació automàtica per infraroig.

Font: Titech

Figura 13. Equip òptic de separació automàtica

El funcionament dels sistemes òptics de separació automàtica es basa en:

- Una acceleració prèvia de la fracció a classificar (per esponjar el material), mitjançant una cinta.

- La detecció de l'envàs a separar mitjançant un escanejat de l'espectre infraroig.

- La expulsió de l'envàs identificat mitjançant un feix d'aire a pressió.

Aquests equips estan suficientment provats a diverses plantes de triatge com per assegurar una selectivitat adequada dels diferents materials que garanteixin el compliment de les especificacions marcades per ECOEMBES.

Els equips de separació automàtica són selectius tant per un o varis materials, permetent seleccionar el/s materials a separar via pantalla tàctil. D'aquesta manera es disposa d'una gran flexibilitat de cara a possibles canvis en el mercat de subproductes reciclats.

Els rendiments de separació de materials dependran de la composició del residu d'entrada (quantitat real de cada tipus de material seleccionat) i de l'eficiència dels equips de separació.

2.1.7. Post refinament de les sortides dels processos TMB.

La etapa de post refinament pot tenir els següents objectius:

- extreure els contaminants (p.e. vidre, plàstics, etc.).
- condicionar la sortida segons el seu ús i/o destí final (p.e. reducció grandària de partícula, premsat, embalat, peletitzat o briquetat): a dipòsit controlat, valorització energètica, esmena orgànica o compost.

Els diferents equips mecànics de post refinament poden ser els següents:

Funció	Extreure contaminants gruixuts	Extreure plàstics lleugers	Reduir la contaminació de metalls pesants	Separació i classificació per mides del material orgànica amb elevat contingut d'humitat
Equip habitual	Trommel o taula densimètrica	Separador d'aire	Garbellat	Garbell d'estrella

Taula 1. Equipament per al post refinament d'esmena orgànica o compost

Funció	Extreure contaminants gruixuts com vidre, inerts i bateries	Extreure restes de metalls fèrrics i no fèrrics	Reduir la grandària	Millorar la facilitat i seguretat del maneig, transport i alimentació
Equip habitual	Separador d'aire	Separador magnètic i de corrents induïdes	Triturador	Peletitzador

Taula 2. Equipament per al post refinament de CDR (a processos de biosecat)

El pas de malla del trommel es triarà en funció de la sortida que es vulgui donar al material estabilitzat, típicament es trobarà entre 10 i 25 mm. A la sortida del trommel s'obtindran dues corrents:

- El material de mida superior a la malla del trommel conté gran part del material estructural (en cas d'afegir-se a l'etapa de barreja) plàstics, paper i una part de matèria orgànica adherida a aquests elements.

  Els restes de plàstic i paper es poden extreure mitjançant un campana extractora i conduir-se fins a un cicló amb descarrega a contenidor.

  El material estructural restant, pot ser reciclat al procés de maduració. Un joc de cintes transportadores el retornen a través de la nau de túnels i descarreguen a una tremuja tipus terra mòbil, que s'encarregarà de dosificar-la a la mescladora.

- L'enfonsat del trommel es recull mitjançant cinta i s'alimenta a una taula densimètrica, que disposa d'un alimentador vibrant previ per esponjar el material i millorar així el rendiment de la taula.

  El funcionament de la taula densimètrica es composa de dues accions complementaries. Una injecció d'aire per la part inferior de la taula per aconseguir una distribució per densitats al llit de la taula, complementada per una vibració de la taula que permet arrossegar els elements pesats (pedres, vidre, etc.).

  D'aquesta manera, es recullen de manera separada per les corresponents cintes, la fracció orgànica estabilitzada i el rebuig d'elements pesants.

  La taula densimètrica disposa d'un filtre de mànigues encarregat de recollir l'orgànic estabilitzat fi que és arrossegat per l'aire d'extracció de la taula.

2.1.8. Premsat.

Pels fluxos de sortida, segons les característiques dels materials poden existir diferents tipus de premses:

- Premsa per a subproductes, envasos: PEAD, brick, paper i cartró i plàstic mix, PET (aquest material desprès de ser separat, es passa a través d'un punxa ampolles).

Font: Masias

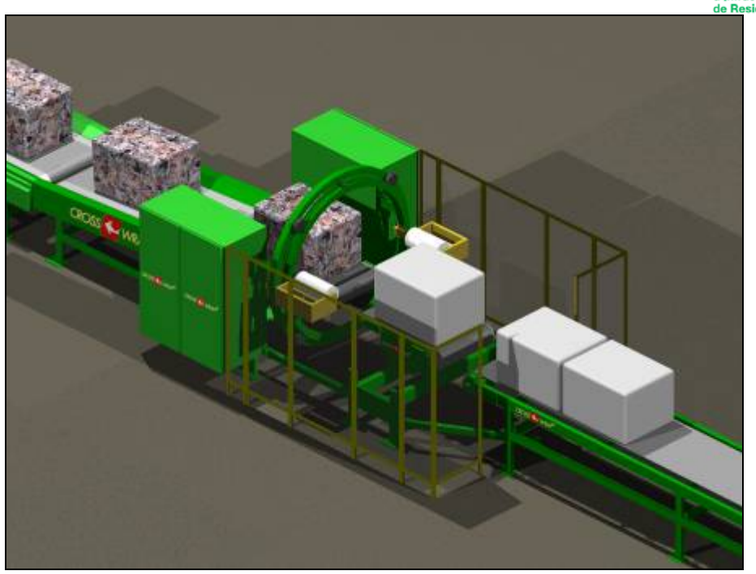
Figura 14. Premsa de bales

- Premsa per plàstic film. La densitat de les bales es pot situar al voltant de 250-350 kg/m^3.

- Premsa per metalls fèrrics. La densitat dels paquets o bales es pot situar al voltant de 1.300-1.600 kg/m^3.

- Premsa per metalls no fèrrics. La densitat de les bales o compactat es pot situar al voltant de 500-600 kg/m^3.

- Premsa per rebuig de pretractament i equip d'enfardat amb plàstic film. La funció principal d'aquest equip és la d'obtenir bales de rebuig. Aquestes han d'estar preparades per al seu possible enfardat mitjançant làmines de plàstic film. Les bales poden ser cilíndriques o cúbiques. La densitat de les bales es pot situar al voltant de 800–850 kg/m^3 (per una densitat aparent del rebuig de 150 kg/m^3).



Font: Cross Wrap

Figura 15. Equip d'enfardat amb plàstic film

2.2. Classificació i selecció d'envasos i residus d'envasos.

El rendiment d'una planta de selecció d'envasos i residus d'envasos depèn, a més de la seva tecnologia i de les condicions d'operació, de la qualitat del material que tracta. Mentre que en els sistemes de recol·lecció en iglú i tapa tancada s'arriben a rendiments entorn al 70%, en el sistema de tapa oberta, degut a l'escassa qualitat del material es produeix un alt rebuig en planta o, el que és el mateix, un rendiment baix.

Tenint en compte, els resultats obtinguts fins a la data, és pot afirmar que els sistemes de recolecció en contenidor iglú i tapa tancada, són els que tenen una major eficiència tècnica i econòmica ja que proporcionen una qualitat i un rendiment superiors en front al sistema de tapa oberta.

Els residus d'envasos una vegada recol·lectats es dirigeixen a les plantes de classificació i separació per a separar els diversos components abans de la seva posta en el mercat de reciclatge per ECOEMBES.

Es descriuen a continuació els factors que influeixen en el seu disseny, així com els diferents tipus de plantes de selecció d'envasos existents.

2.2.1. Factors que influeixen en el disseny d'una planta de selecció d'envasos.

S'indiquen a continuació els factors que més influència tenen en el disseny d'una planta de selecció d'envasos.

- Composició dels residus:
  - Característiques físiques: grandària i densitat (compactat o no).
  - Composició qualitativa (fraccions que integren els residus).

- Especificacions dels materials a separar.

- Capacitat de la planta:
  - Entrades.
  - Sortides.

- Característiques de la recol·lecció selectiva.

- Ritme d'aportació de residus a la planta.

Val la pena aprofundir en un factor important en quant al disseny d'aquest tipus d'instal·lacions i quin tipus de residus es tenen que separar al final del procés, ja que el que es pretén és separar productes per la seva composició a diferència del que s'estableix en altres països europeus com, per exemple, Alemanya.

Aquest factor influeix decisivament en el disseny de la instal·lació, així com en el rebuig que es produeix al final del procés.

ECOEMBES (Espanya).

- Envasos de PEAD (polietilè d'alta densitat).
- Films de PEBD (polietilè de baixa densitat).
- Envasos PET.
- Envasos PVC.
- Plàstic Barreja.
- Cartró per a begudes (tetrabrick).
- Paper-cartró.
- Alumini.
- Acer.
- Fusta.

Punt Verd (Alemanya).

- Films de plàstic de grandària superior a A4.
- Envasos de plàstic buit sense distingir per tipus de material (PET, PVC, PEBD, etc.).
- Cartró per a begudes (tetrabrick).
- Paper-cartró.
- Alumini.
- Acer.
- Resta: compost per petits envasos de plàstic difícilment seleccionable i film menor de A4.

Com es pot deduir de l'anterior, el fet d'haver de separar els envasos en funció del material que els constitueix fa més complicat i costós el tractament a emprar, però per altra banda posa en el mercat del reciclatge mono-materials facilitant així la tasca de reciclatge final que d'altre manera requeria processos de selecció posteriors.

2.2.2. Criteris de disseny d'una planta de selecció d'envasos.

A continuació es recullen els criteris principals que s'han de tenir en compte per al disseny del procés amb l'objectiu d'obtenir una planta moderna, que maximitzi l'eficàcia de selecció dels diversos materials mantenint uns costos d'explotació moderats i sense cap risc per a la salut dels operaris.

1. Disseny modular i adaptable a ampliacions de capacitat de la instal·lació i/o de selecció de nous materials.

   Aquest punt és molt important ja que una planta ben dissenyada permet posteriors ampliacions i modificacions per a adaptar-se tant al increment de residus com a les seves característiques.

2. Eficàcia en l'obertura de bosses (> 95-98%).

   Resulta molt important que les bosses que arriben a la planta siguin obertes per a poder facilitar el procés de selecció posterior. És recomanable que les plantes d'una certa grandària incorporin un equip específic en capçalera de la instal·lació per a aquesta funció.

3. Correcte buidat de les bosses una vegada obertes de manera que el material quedi lliure per a afavorir la classificació.

   Aquesta funció facilita la classificació posterior, i pot portar-se a terme mitjançant el mateix obrebosses, de forma manual o mitjançant un garbell rotatiu (trommel).

4. Senzillesa al traçat de cintes de selecció per a evitar recorreguts ineficaços i innecessaris i poder escometre ampliacions futures amb facilitat.

5. Adequació dels llocs de selecció a les millors condicions de treball el que permet incrementar l'índex de selecció.

6. Accessos senzills i fàcils als llocs de treballs per a evitar accidents laborals.

7. Uniformització i estandardització, en la mesura del possible, dels equips per a facilitar la gestió de recanvis i el subministrament dels mateixos.

8. Garantía de qualitat dels materials recuperats complint amb els estàndards que fixi la legislació o normativa d'aplicació.

Un altre factor important en aquest tipus d'instal·lacions és l'automatització dels processos per la selecció de les diverses fraccions a separar.

Les principals fraccions que poden ser separades de manera automàtica són:

- Ferralla magnètica, degut a que és senzill, barat i altament eficaç la seva preparació mitjançant imants permanents o electroimants.

- Alumini, es separa de manera automàtica quan existeixen concentracions per sobre del 2% i sempre i quan el preu del mercat faci recomanable la seva separació, ja que els equips que la realitzen són més cars (corrents de Foucault) que els aplicats per a la ferralla magnètica.

  S'ha d'assenyalar que juntament amb les llaunes de refrescs es separen aquells tetrabricks que al seu interior porten alumini, sent necessària després una separació de les llaunes i els tetrabricks.

- Plàstics i tetrabricks, als últims anys s'estan implantant sobretot als països nòrdics i a Alemanya separadors òptics de plàstics (segons el material que composa l'envàs, PET, PVC, Polietilè) i de tetrabrick.

2.2.3. Àrees bàsiques d'una planta de selecció d'envasos.

Les àrees que es descriuen a continuació són les àrees bàsiques d'una instal·lació semiautomàtica de selecció d'envasos.

1. Àrea d'alimentació de residus i sistema d'obrebosses.
2. Preclassificació manual.
3. Preclassificació mecànica.
4. Classificació automàtica de materials reciclables.
5. Classificació manual de materials reciclables.
6. Preparació i expedició de materials.

Habitualment els residus es recepcionen en una platja i són alimentats al procés mitjançant una pala carregadora.

L'obrebosses és un dels principals equips d'aquests tipus de plantes ja que s'ha d'assegurar l'obertura d'un alt percentatge de bosses (95-98%) de tot tipus i grandària i espargir el seu contingut per a garantir que els processos de selecció posteriors es realitzin amb una major eficàcia.

Una vegada que les bosses han estat obertes, es dirigeixen a un procés previ de classificació a on s'extrauen aquells elements voluminosos i de gran grandària que poden dificultar els processos de selecció posteriors.

Aquesta preclassificació és manual, ja que donat la grandària dels residus a separar és difícil aplicar algun tipus d'automatització. En algunes instal·lacions s'implementa un sistema d'aspiració de bosses i plàstic film al qual el seleccionador acosta el material i es aspirat fins al seu lloc de magatzematge.

L'àrea de preselecció mecànica normalment consisteix en un garbell rotatiu o trommel, la funció bàsica de la qual és distribuir els residus per mida de tal manera que la selecció manual posterior es realitzi d'una manera més eficaç. Les grandàries de malla del trommel depèn de les característiques dels residus que es tractaran a la planta.

Figura 16. Trommel de classificació mecànica i captació de film

És habitual que el primer pas de malla del trommel tingui una grandària de 40-60 mm per a separar terres, petits trossos de vidre, matèria orgànica, etc. En definitiva, aquelles fraccions presents als residus que puguin considerar-se no classificables o rebuig, de tal manera que aquest material ja no arriba als classificadors manuals facilitant així la seva tasca.

No obstant, no totes les plantes incorporen aquesta fase de classificació mecànica, sobretot aquelles plantes que tenen una capacitat de tractament petita.

La classificació mecànica automàtica consta bàsicament dels mateixos equips que s'utilitzen per a classificar residus procedents de recollida no selectiva, excepte que a una planta de selecció d'envasos la seva eficàcia és molt superior.

Es descriuen a continuació els principals equips de separació automàtica:

- Metalls fèrrics: Per mitjà de camps magnètics, mitjançant imants permanents (*overband*) o electroimants.

Figura 17. Overband – Imant permanent

- Metalls no fèrrics: Per corrents de Foucault.
- Plàstic film: Mitjançant sistemes pneumàtics o mitjançant classificació manual.

La resta de materials es classifiquen principalment de manera manual, encara que ja s'estan comercialitzant equips de selecció automàtica.

Figura 18. Cabina de selecció manual

- Plàstics durs: Per classificació manual i últimament mitjançant separadors òptics que identifiquen el tipus de plàstic a separar. Aquests últims bàsicament a plantes de selecció d'envasos on presenten rendiments de separació molt elevats.

Figura 19. Separador automàtic de plàstics

- Paper i cartró. Per classificació manual. També existeixen separadors òptics.

- Plàstic barreja: Per classificació manual. També existeixen separadors òptics.

- Tetrabricks: Per classificació manual. També existeixen separadors òptics.

2.2.4. Tipus de planta segons la seva automatització.

En aquests moments el tipus de planta de tractament podria classificar-se en tres grans grups depenent de l'automatització de la mateixa (manuals, semiautomatitzades i automatitzades).

Com a norma general, amb un major grau d'automatització, més elevada seria l'eficàcia de separació amb menys personal i, per tant, els costos operatius serien menors. No obstant això, la inversió és major en funció del nombre d'equips automàtics que es vagin implementant.

- Planta manual que consta de:

  - Alimentació i obertura de bosses.
  - Separador de films per aspiració amb ajuda manual a l'àrea de pre-classificació.
  - No existeix pre-classificació mecànica (trommel o similar).
  - S'inclou separador magnètic però cap altre tipus de separador automàtic.
  - S'inclou separador manual.

- Planta semiautomàtica que consta de:

  - Alimentació i obertura de bosses.
  - Separador de films per aspiració amb ajuda manual a l'àrea de pre-classificació.
  - Pre-classificació automàtica (trommel o similar) en tres corrents (la més fina rebuig).
  - S'inclou separador magnètic i Foucault.

- Planta automàtica que consta de:

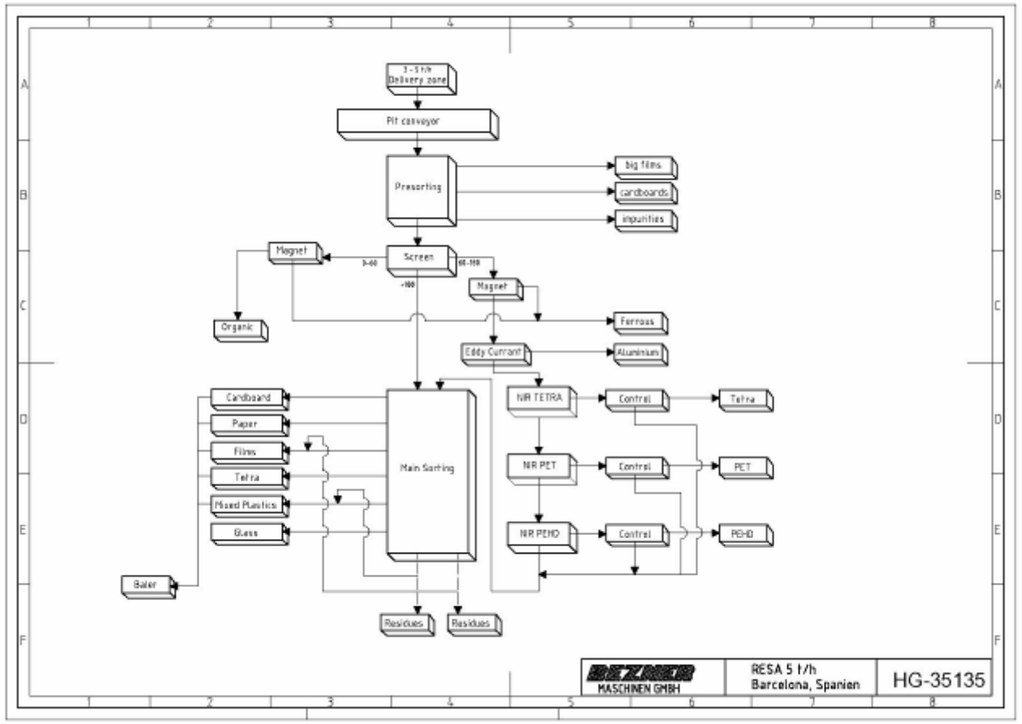
  - Alimentació i obertura de bosses.
  - Separador de films per aspiració amb ajuda manual a l'àrea de pre-classificació.
  - Pre-classificació automàtica (trommel o similar) en tres o quatre corrents (la més fina rebuig).
  - S'inclou separació de film automàtica.
  - S'inclou separador magnètic, Foucault i òptic per cartró per begudes (tetrabrick), PET o PEAD.

En plantes de petita grandària s'opta per les solucions més senzilles tecnològicament donat que la inversió sol ser el factor limitant.

En plantes de mitjana grandària (amb una capacitat de 2-3 t/h) s'opta per plantes semiautomatitzades a on amb el temps es va incorporant més automatització.

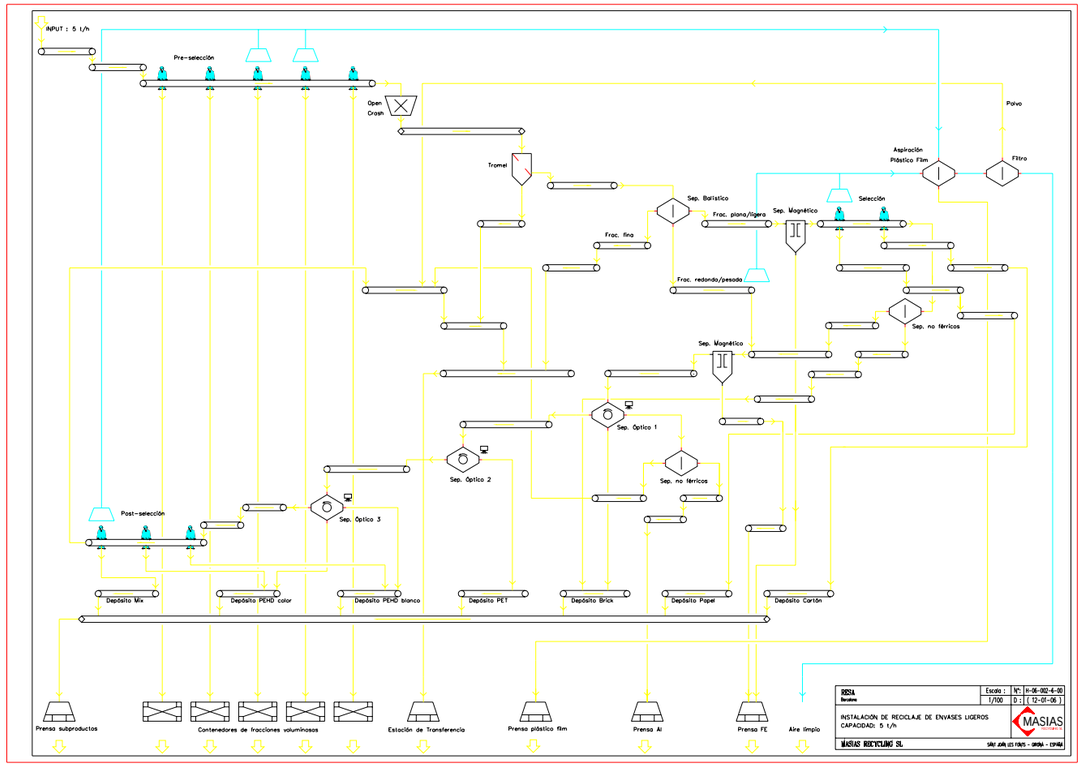
La situació actual és transitòria, és d'esperar que s'incrementi el grau d'automatització de les plantes de selecció d'envasos. En aquests moments a Espanya s'està començant a estudiar la possibilitat d'instal·lació de plantes automatitzades degut a un important cost que significa la mà d'obra. Aquest tipus de planta es planteja sobretot en plantes de gran capacitat (4,5 t/h i superiors).

A continuació es presenten diferents esquemes de procés tipus per una planta de classificació i selecció automàtica d'envasos de 5 t/h.



Font: Bezner

Figura 20. Esquema de procés per planta automàtica de classificació i selecció d'envasos (capacitat 5 t/h)



Font: Masias

Figura 21. Esquema de procés per planta automàtica de classificació i selecció d'envasos (capacitat 5 t/h)

2.3. Tractament de voluminosos.

A continuació es presenta l'esquema típic del procés per al tractament dels residus voluminosos.

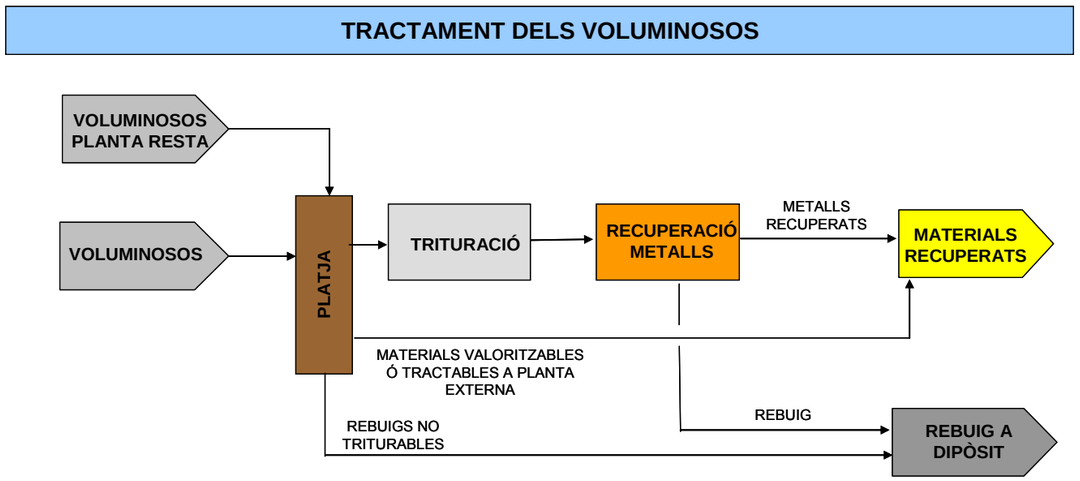


Figura 22. Esquema típic de procés per al tractament del voluminosos

Els residus voluminosos a tractar[8] poden ser de diferents tipus com ara:

- Palets. Es separen els que tinguin possibilitat de ser reparats i els que no, s'envien a l'etapa de trituració.

- Residus (electrodomèstics, etc.) que continguin peces valoritzables (motors, etc.) Desballestament manual.

- La fracció vidre, que en gran part arriba esmicolada i no es pot separar, però en cas de tenir panells de vidre sencers o de gran grandària, es separen de l'element que els contingui, i l'operador els diposita en el contenidor específic per aquest material.

- Els materials perillosos que puguin acompanyar els residus recepcionats (bateries, fluorescents, restes de pintura,…), es porten a una planta de transferència.

- Mobles en bon estat de conservació, que es porten a una línia de reparació i reutilització, en principi a fora de la planta, per que els materials tornin a ser incorporats al cicle econòmic com a productes de segona mà.

Tanmateix, el rebuig voluminós procedent de les plantes de triatge o tractament mecànic-biològic de RESTA, es descarrega en un contenidor o receptable específic i es procediria a similar processament que la resta de voluminosos, procurant no barrejar corrents.

A continuació es descriuen les diferents etapes més habituals per al tractament d'aquests residus.

Trituració i separació de fèrrics. Contenidors d'expedició.

Una pala apropa els residus de fusta a l'abast de la grua per que alimenti la trituradora, que funciona de manera discontinua, procurant no mesclar elements, per exemple fusta neta i fusta bruta.

Una vegada triturada, la fusta passa per un separador magnètic que permet recuperar els materials fèrrics.

La fusta triturada es classifica segons els seu destí, en contenidors d'expedició.

Separació sense trituració.

La resta dels residus, en principi, no es trituren. En aquest cas, el procés consisteix en agrupar-los segons la seva naturalesa en contenidors:

- Els electrodomèstics que continguin gasos nocius (freons, CFC, etc.): la grua els deixa a un contenidor o receptacle específic, llestos per a la seva expedició a empreses dedicades a la recuperació d'aquests gasos.

- Els equips electrònics i electrodomèstics de línia blanca (excepte neveres) i marró: la grua els deixa a un contenidor o receptacle específic, llestos per a la seva expedició. La destinació d'aquests residus és a empreses dedicades a la valorització dels diferents components que composen aquests equips.

- Els matalassos: la grua els deixa sense tractar a un contenidor o receptacle específic. En ocasions, es poden triturar a la mateixa planta.

Zona de materials processats.

Al final del procés els materials s'emmagatzemen en una zona específica, en el interior dels diferents contenidors, a l'espera de ser recollits.

[8] Alguns d'aquests s'hauran de manipular manualment abans de continuar el procés de tractament.

3. TRACTAMENTS BIOLÒGICS.

La selecció del tractament biològic per al tractament de p.e. FORM, RESTA o RM en massa depèn de les sortides requerides dels diferents processos, bé sigui un compost o esmena orgànica, bioestabilitzat, biogàs o CDR.

En cas de que es requereixin diferents sortides, les configuracions dels processos poden incloure diferents tecnologies de tractament biològic: digestió anaeròbia, compostatge[9], estabilització aeròbia o secat biològic aerobi ("bio-drying").

3.1. Tecnologies de digestió anaeròbia.

Als últims anys la digestió anaeròbia ha anant adquirint experiència i presència al tractament de la fracció orgànica procedent dels residus municipals, de mercats o altres fraccions orgàniques (fangs, origen industrial, etc.).

En general aquestes tecnologies inicialment van ser dissenyades per tractar fracció orgànica de recollida selectiva (FORM), que és on es disposava de més experiència, però actualment algunes d'elles disposen de referències tractant matèria orgànica procedent de la fracció RESTA (MOR).

El present apartat recull un anàlisi de l'estat actual de la digestió anaeròbia de la fracció orgànica continguda als residus municipals (FORM i MOR) i d'una selecció de les principals tecnologies.

L'anàlisi inclou els següents punts:

– Anàlisi de paràmetres tècnics. Definicions i criteris bàsics com:

  - Pretractaments previs de les fraccions orgàniques.
  - Contingut de sòlids en la suspensió (digestió en via humida o digestió en via seca).
  - Etapes de digestió (digestió en una o dues etapes).
  - Temperatures de treball (règim mesòfil o termòfil).
  - Temps de residència.
  - Mida de partícula.
  - Sistemes d'agitació i escalfament de la suspensió.
  - Sistemes de deshidratació.
  - Codigestió.
  - Digestions amb sistemes de percolació.

– Anàlisi de les tecnologies (selecció):

1. VALORGA INTERNACIONAL SAS
2. OWS
3. KOMPOGAS
4. LINDE-BRV i LINDE-KCA (*)
5. SCHWARTING ENVIRONMENTAL SYSTEMS
6. BTA
7. WABIO
8. WAASA
9. ROS ROCA (*)
10. HAASE
11. ARROWBIO
12. IMK (BIOENERGIE)
13. ISKA
14. WEHRLE UMWELT

(*) S'inclouen a l'anàlisi les seves tecnologies de compostatge.

3.1.1. Anàlisi paràmetres tècnics.

3.1.1.1. Adequació de la fracció orgànica.

En el cas d'una digestió anaeròbia les principals tecnologies de digestió anaeròbia (via seca) demanen una limitació per mida amb malles no superiors als 70 mm, i algunes tecnologies passen per una etapa de trituració prèvia a entrada a digestió a mides de 40 mm.

En cas que no es realitzi cap separació prèvia en sec a l'etapa de triatge, es poden produir desgasts elevats als equips de mescla, agitació i transport i possibles sedimentacions als fons dels digestors.

[9] És important senyalar que no tots els processos anomenats de "compostatge" produeixen un compost que pugui ser utilitzat com a producte fertilitzant a la agricultura o jardineria (veure *Annex Estudi tècnic del marc normatiu i altres documents de referència* del present document). Per altra part, donat que els estàndards de qualitat de compost a molts països de la UE és voluntari, nombrosos tecnòlegs anomenen genèricament el material orgànic bioestabilitzat com "compost".

Pel que respecta a processos d'adequació d'aquesta fracció orgànica, en general, les tecnologies de digestió anaeròbia (via humida) passen per una o vàries etapes de separació prèvia específica d'inerts, amb l'objectiu d'enviar als digestors una suspensió el més lliure d'impureses possible.

Els processos de separació combinen sistemes de flotació per recuperar els materials lleugers (plàstics, tèxtil, paper no dissolt, etc.) amb sistemes de sedimentació per recuperar els materials pesats (vidre, ceràmics, terres, etc.).

El bon dimensionat i l'efectivitat d'aquests sistemes són claus de cara a aconseguir un procés biològic posterior sense problemes de sedimentacions als digestors ni d'obturacions per flotació a les parts superiors dels digestors.

En el cas de processos de percolació, es requereix una classificació per mida (trommel) amb un pas de malla de 90-150 mm segons la tecnologia. El percolat (lixiviat del procés de rentat dels residus), com a pas previ a l'etapa de digestió, es tracta per a eliminar els minerals pesats i inerts (sorra, gravilles, vidre, etc.) i les fibres es separen mitjançant sedimentació i flotació.

3.1.1.2. Temperatura de treball de la digestió anaeròbia.

La temperatura a la qual es desenvolupa el procés anaerobi afecta a la activitat dels microorganismes (conversió, cinètica, estabilitat, qualitat de l'afluent), a l'energia neta del procés de conversió biològic i, en menor mesura, a les constats d'equilibri físic-químic en el medi (solubilitat de sals i gasos, especialment del diòxid de carboni, constants de dissociació, etc.).

Els processos de digestió anaeròbica poden classificar-se en dos grups diferenciats depenent de la temperatura òptima de creixement dels microorganismes:

Classificació	Temperatura òptima
Mesofílics	35 – 40 ºC
Termofílics	> 55 ºC

Avui en dia, no existeix un consens generalitzat sobre si un augment de la temperatura d'operació amb el consegüent increment de l'activitat biològica, compensa el major cost que suposa aconseguir i mantenir aquestes condicions.

Es recullen a continuació els efectes positius i negatius de treballar en condicions termófiles enfront de les condicions mesòfiles.

- La temperatura a la que es desenvolupen els microorganismes exerceix una forta influència sobre l'activitat de les bactèries, ja que les afecta tant a nivell intracel·lular com a un nivell extern. Així, els aspectes termodinàmics de la conversió dels compostos orgànics depenen de la temperatura: la majoria de les reaccions de biodegradació requereixen menors energies a altes temperatures, lo qual implica un procés de digestió més ràpid i per tant, en teoria, un menor temps de retenció hidràulic.

- Sembla que l'experiència demostra una major producció de biogàs als processos termofílics que als mesofílics. Aquest augment de producció de biogàs compensaria les majors necessitats d'escalfament del procés, fent el cicle energèticament més favorable. No obstant, existeixen experiències que demostren que els processos mesofílics són més estables i, per tant, tenen una major disponibilitat.

- Un procés de digestió anaeròbica treballant en condicions termofíliques podria garantir l'absència de patògens a la sortida del digestor sempre i quan el mateix funcioni amb un tipus "flux pistó" (a on el material d'entrada va recorrent el digestor, i el material a la sortida té el mateix temps de residència), i es pot garantir, per tant, que tota la matèria que entra al digestor ha estat higienitzada. Els digestors convencionals de barreja complerta (el material a la sortida pot tenir diversos temps de residència) no poden garantir la higienització treballant a temperatures termofíliques.

- Els processos termofílics són usualment més viables quan el procés requereix menors quantitats d'energia tèrmica. Així, la majoria del sistemes de digestió humida es realitzen en condicions mesòfiles (amb un major volum a escalfar) mentre que els processos de digestió seca es realitzen generalment en condicions termòfiles.

- La viscositat del medi disminueix al augmentar la temperatura. Per tant, una temperatura més alta afavoreix la sedimentabilitat de les partícules podent-se acumular aquestes als fons dels digestors. Aquest fet revesteix especial importància en aquelles tecnologies que no extreuen els contaminants abans de l'entrada al digestor.

- La solubilitat dels gasos disminueix al augmentar la temperatura. Això dóna com a resultat una menor concentració de metà al biogàs (menor contingut energètic del biogàs), però també que el hidrogen, amoníac i sulfur d'hidrogen, els quals exerceixen un efecte negatiu (a vegades tòxic) sobre el procés de digestió, siguin més fàcils

d'eliminar de la dissolució acumulant-se al biogàs i, per tant, s'haurà de tenir més precaució en la seva utilització.

- L'equilibri químic i les constants de dissociació dels diversos compostos implicats en el procés depenen de la temperatura. Un augment de temperatura afavoreix la dissolució de majors quantitats de sals. Així mateix, la quantitat d'ions dissociats poden canviar (àcids grassos volàtils, NH_3, H_2S), augmentant l'efecte tòxic de certs compostos com l'amoníac (l'efecte tòxic és causat per les formes no dissociades) podent produir una major inestabilitat del procés en condicions termofíliques.

- Augment del període de posta en marxa del procés termofílic respecte als seus anàlegs mesofílics, condicionat en gran manera pel baix contingut en microorganismes termofílics de la matèria orgànica que formi part dels diferents abocaments que han d'utilitzar-ne com inoculants, aspecte pal·liable amb la utilització d'un inòcul termofílic adequat.

3.1.1.3. Digestió via seca o via humida.

Atenent al contingut en sòlids en el procés de digestió, les tecnologies es classifiquen en dos grans grups: digestió anaeròbia via humida i digestió anaeròbia via seca. Al primer cas, el contingut en matèria seca del residu està per sota del 20%, generalment entre el 3-15%, i en el segon, el contingut està entre el 20 i el 40%.

Com avantatges dels processos de digestió secs en front dels humits, es podrien citar els següents:

- Major sequedat del sòlid digerit al procés de deshidratació.

- Reducció dels equipaments de preparació de la matèria abans de la digestió, així com als equipaments de tràfec de suspensió i d'aigua. Normalment, menor generació d'aigües residuals del procés (però amb major càrrega contaminant).

- Menor volum del digestor per existir menor quantitat d'aigua per dissolució a la corrent d'entrada al mateix.

- Menors necessitats d'escalfament del digestor al ser de menor volum. Aquest avantatge resulta relatiu, ja que als processos de digestió anaeròbia existeix un excedent d'energia tèrmica.

- En general, menors costos d'inversió i d'operació.

Com a desavantatges dels processos de digestió secs en front dels humits, es podrien citar les següents:

- Major desgast mecànic als sistemes de transport mecànic del sòlid a digerir, donada la major concentració de sòlids present.

- Menor flexibilitat en quant a admetre residus amb alt contingut en humitat: purins, fangs d'EDAR, etc.

- Major concentració de DQO i DBO_5 en l'aigua restant del procés requerint, per tant, un sistema de depuració de les aigües residuals més exigent.

- Major concentració de sòlids en suspensió a la corrent líquida a la sortida del sistema de deshidratació, tenint en compte sistemes de deshidratació i consums de polielectrolit per quilo de substància seca equivalents. Això obliga a augmentar la inversió en el sistema de deshidratació per reduir aquesta concentració de sòlids i que la planta depuradora d'aigua residual funcioni correctament.

- Si l'agitació del material a l'interior del digestor no es realitza correctament, existeix la possibilitat de formació de pressions diferencials a l'interior del digestor per acumulació del biogàs, el que obliga a implementar sistemes d'agitació especialment eficaços.

- Menor homogeneïtat en la suspensió a l'interior del digestor.

- Majors requeriments mecànics a les bombes de tràfec de sòlids.

Ambdues tecnologies via seca i humida disposen de referències en el tractament de la matèria orgànica dels residus municipals, tant si es tracta de FORM com de MOR.

3.1.1.4. Digestió en una o dos etapes.

La digestió anaeròbia és un procés biològic que implica diverses reaccions microbianes successives (hidròlisi, acidogènesi, acetogènesi i metanogènesi).
La hidròlisi és la primera fase de la degradació de la matèria orgànica en la que participen les bactèries hidrolítiques o acidogèniques. Es produeix en condicions aeròbiques i consisteix en el trencament de les membranes cel·lulars i la descomposició de les macromolècules orgàniques (polisacàrids, lípids, proteïnes) en molècules més simples

(àcids orgànics, alcohols, cetones, hidrogen i diòxid de carboni) que poden ser fàcilment atacades per els microorganismes.

A la segona fase, o acetogènesi, actuen les bactèries acetogèniques, transformant les noves molècules per produir àcid acètic, hidrogen i diòxid de carboni. L'ús de l'oxigen dissolt en aigua per part d'aquestes bactèries provoca que aquest element s'esgoti, transformant les condicions aeròbiques inicials en anaeròbiques.

A la última fase, o metanogènesi, intervenen les bactèries metanogèniques, que utilitzen l'àcid acètic com a font de matèria i energia i el diòxid de carboni i el hidrogen per la respiració. Com a subproducte de la respiració es produeix metà.

Les reaccions són les següents:

Descomposició d'àcids butírics: $C_3H_7OOOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
Descomposició d'àcids propiònics: $C_2H_5COOH+3H_2O \rightarrow CH_3OOH+3H_2+H_2CO_3$
Producció de metà: $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$
$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

La separació del procés de digestió en varies fases possibilitaria disposar les condicions idònies per aquests grups bacterians i, per tant, optimitzar el seu funcionament.

El principal avantatge de la separació d'etapes radica en la possibilitat de controlar les sobrecàrregues, donat que el reactor metanogènic (els microorganismes del quals són molt més sensibles) rep una alimentació de característiques constants.

Una altra avantatge és que la duració total del procés s'escurça al separar les fases de tractament i optimitzar el mateix.

A la pràctica, no obstant, la digestió de dos etapes no ha estat capaç de justificar els avantatges exigits pel mercat.

El cost d'inversió afegit i la complexitat del funcionament dels sistemes de dos etapes han provocat que es limités a un mercat més petit. El major avantatge d'un procés en una etapa és la simplicitat i, per tant, la fiabilitat de l'explotació.
És interessant indicar que, pràcticament totes les tecnologies instal·len un tanc d'aigües previ al digestor. Aquest tanc compleix amb les funcions de tanc pulmó per dosificar la matèria al digestor de forma contínua cobrint des de un torn a un cap de setmana i com etapa de hidròlisi, que té lloc durant el període de emmagatzematge.

3.1.1.5. Co-digestió.

En ocasions s'afegeixen fangs d'EDAR, purins de porc i altres residus, juntament amb la fracció orgànica dels residus municipals.

La co-digestió s'aplica menys de l'esperable. El més comú és que un co-substrat sòlid orgànic sigui afegit a digestors de purí en petites quantitats, sovint aquests co-substrats són fangs de procedència industrials potencialment productors de gran quantitat de biogàs (greixos, olis, etc.), i excepcionalment s'afegeixen residus municipals o de mercats.

L'addició de purí o fangs d'EDAR a plantes de digestió de residus municipals és també molt limitada.

La inversió addicional per tancs de recepció o bombes no resulta molt significativa, però per altre banda, es produeix un excés d'aigua residual a tractar que pot influir de forma significativa en la inversió.

Un cas particular a considerar és el de les digestions seques que poden presentar problemes en quant a l'acceptació d'aquest tipus de residus orgànics per l'alt contingut en humitat dels mateixos.

3.1.1.6. Grandària de partícula requerida a l'entrada del digestor.

Una reducció de la grandària de partícula afecta al procés de digestió de dos maneres.

Primerament, en el cas de substrats amb un alt contingut en fibres i baixa degradabilitat, la trituració provoca un augment en la producció de biogàs.

El segon efecte de la reducció de la grandària de partícula, particularment per substrats poc degradables, és el de la reducció del temps de digestió. Això facilita la digestió de barreges més heterogènies i possibilita reduir el volum del digestor sense disminuir la producció de biogàs. Les tecnologies humides incorporen sistemes d'extracció de contaminants, generalment aprofitant les diverses densitats dels contaminants (flotació).
Una vegada extrets aquests contaminats, algunes d'aquestes tecnologies humides incorporen una disgregació en les mateixes canonades d'impuls al digestor mitjançant molins trituradors, el que permet arribar a una menor grandària de partícula.

La grandària de partícula requerida per a tots els sistemes de digestió es troba aproximadament entre 40 i 80 mm a l'entrada al sistema de digestió. Els requeriments dels sistemes secs són una mica més grans i, normalment, es requereix una grandària per sota dels 60 mm.

3.1.1.7. Escalfament del sistema de digestió.

Existeixen diversos mètodes per l'escalfament del digestor, cadascú amb avantatges i inconvenients. Els principals són:

1. Preescalfar el material a digerir en un intercanviador extern amb aigua calenta.

   Aquest mètode és especialment apropiat per residus orgànics amb un baix contingut en sòlids (sistemes humits). L'aigua calenta s'obté en un altre intercanviador associat al motor de biogàs, generalment de la refrigeració de les camises del mateix.

   Aquest sistema presenta l'avantatge de que l'aigua calenta es fa circular pels tubs del intercanviador i el material a digerir per fora, amb el que els problemes d'embrutiment del intercanviador no es produeixen al interior dels tubs.

2. Circulació d'aigua calent per el interior de serpentins situats a dins del digestor.

   En aquest mètode, l'aigua calent circula entorn dels tubs usualment situats en les parets del digestor. En aquest cas s'aconsegueix una elevada superfície d'escalfament, amb el que la temperatura de superfície del tub pot ser menor, reduint-ne així els problemes per brutícia de les superfícies d'intercanvi de calor.

   El desavantatge d'aquest mètode és el seu nivell d'inversió i, a més, per a realitzar la neteja dels tubs d'escalfament, és necessari el buidat del digestor. S'utilitza només en plantes de molt petita capacitat.

3. Escalfament per mitjà de vapor.

   Aquest mètode és emprat per alguns sistemes de digestió secs com mètodes d'escalfament del sòlid a digerir. El vapor es produeix generalment a partir del biogàs generat amb la conseqüent pèrdua de eficiència energètica del procés, encara es pot generar a partir dels gasos d'escapament dels motors de biogàs.

3.1.1.8. Digestor horitzontal o vertical.

Els digestors verticals permeten una descàrrega per gravetat i, a priori, tenen uns requeriments de superfície inferiors als digestors horitzontals.

Els digestors horitzontals, per la seva accessibilitat, són relativament simples per buidar i netejar tot i que es pot produir una major acumulació de les impureses presents als residus al llarg de tota la longitud del digestor, el que pot dificultar l'extracció de les mateixes. Els digestors horitzontals poden tenir menys impacte visual.

3.1.1.9. Agitació del digestor.

El sistema d'agitació és un dels punts més importants en el disseny d'un reactor anaeròbi. Els objectius del sistema d'agitació són:

- Obtenir una homogeneïtat física, química i biològica a dins del digestor.
- Permetre el contacte entre la biomassa activa i la alimentació de material fresc.
- Distribuir la matèria orgànica i les possibles substàncies inhibidores al contingut del digestor.
- Aprofitar el volum del digestor amb efectivitat.
- Prevenir l'estratificació i la formació de gradients de temperatura.
- Minimitzar la formació d'una capa d'espumes i la deposició dels sòlids.

Els tres tipus de sistemes d'agitació que s'empren majoritàriament són la injecció del propi biogàs que es genera, l'agitació mecànica i el bombeig de recirculació amb injecció a través de difusors.

El sistema més empleat és el de la injecció del biogàs en diversos punts de la zona inferior del digestor, a través de llances o mitjançant difusors. S'ha de destacar que un avantatge decisiu d'aquest sistema és l'absència de qualsevol peça d'agitació mecànica al digestor, el manteniment del qual implicaria l'obertura del digestor o fins i tot el seu buidat i, per tant, tindria un impacte negatiu en la disponibilitat de la unitat.

En línies generals, com més gran és la presència d'impropis a la matèria orgànica amb el digestor, més important resulta la recirculació de material per a evitar acumulacions de materials a l'interior del digestor.

3.1.1.10. Sistema de deshidratació del material digerit.

El material digerit pot ser deshidratat mitjançant diversos sistemes de separació sòlid-líquid fins un grau mig de sequedat del 30-35% Matèria Seca a sistemes humits i a més del 50% Matèria Seca a sistemes secs depenent del sistema empleat i del producte a deshidratar.

Entre aquests sistemes destaquen la deshidratació per premsat (premsa cargol i filtre premsa) i la centrifugació.

Habitualment, a les tecnologies de digestió seca s'empra la deshidratació per premsat (premsa cargol generalment) amb una centrifuga i/o un filtre banda posterior, mentre que en les tecnologies humides se sol emprar la centrifugació com sistema de deshidratació (en ambdós casos amb l'addició de floculants). En ocasions, s'empra una combinació de diversos sistemes de separació.

La centrifugació té un consum elèctric sensiblement superior al de la premsa de cargol. No obstant això, el grau de recuperació de sòlids en suspensió de la centrifugació és superior al de la premsa cargol. Això és un factor important ja que un major contingut en sòlids en suspensió en el filtrat pot dificultar la posterior depuració de les aigües residuals excedentàries.

	Fracció sòlida	**Fracció líquida**	**Consum d'energia (kWh/m^3)**
	Sòlids Totals (%)	**Sòlids en Suspensió (%)**	
Premsa cargol	30 – 50	1.0 – 3.6	1.6 – 2.1
Centrífuga	25 – 30	0.1 – 0.4 (aprox. 0.1(*))	2.8 – 4.0

(*) Amb floculant.

Taula 3. Rendiments i consums típics de diferents sistemes de deshidratació de digerit

Per aconseguir menys presència de sòlids a l'aigua de sortida de les premses de cargol als processos secs es venen implantant últimament centrífugues o filtres de bandes darrera les premses de cargol, el que iguala ambdós sistemes en qualitat però incrementa la inversió als sistemes secs.

3.1.1.11. Limitacions de la digestió de MOR.

En el cas de la digestió anaeròbia per al tractament de la fracció orgànica separada de les fraccions RESTA o RM (MOR), l'eliminació d'impropis presents encara no s'ha solucionat amb total satisfacció donat que resulta molt complicat extreure elements com el vidre i les terres d'una fracció amb un alt contingut d'humitat.

Totes les tecnologies de digestió que han desenvolupat un projecte a Espanya han tingut problemes de diferent abast, tant a la posta en marxa, així com per a arribar als rendiments previstos de disseny, alguns dels quals estan en vies de solució mitjançant l'adaptació dels seus sistemes d'eliminació i extracció de contaminants, o en el cas de que aquest sistema no existeixi (solucions tipus sec), s'ha tingut que incrementar el nivell del pretractament (afegint equips de separació d'inerts fonamentalment) per a obtenir una MOR sense tants contaminants.

És en aquest punt de procés a on s'han de realitzar encara els avanços tecnològics més importants i a on els tecnòlegs de digestió anaeròbia tenen més a aportar en funció del seu procés de digestió.

Si bé les experiències a Espanya en digestió anaeròbia de FORM són més reduïdes, el contingut d'impropis en la FORM és més reduït que a la RESTA, pel que és previsible que la problemàtica esmentada es redueixi considerablement.

Als sistemes amb digestió humida es poden produir problemes d'operació per sedimentacions[10], formació d'escumes[11], flotació[12] i acumulació d'inerts al digestor. Els problemes en els sistemes de digestió seca són principalment deguts a l'acumulació d'inerts als digestors, estant generalment menys lligats a la sedimentació de sorres i inerts o a problemes de flotació/escumes al digestor.

La problemàtica de la digestió de MOR es pot resumir en els següents punts:

- La heterogeneïtat de la MOR produïda a les diferents plantes juntament a temps de resposta del procés molt llargs es tradueix en una experiència limitada dels tecnòlegs amb digestió de MOR.

[10] Per sedimentacions dels inerts pesants juntament amb els sòlids biodegradables.
[11] Per arrossegament de sòlids biodegradables amb plàstics lleugers (com poliestirè) resultant en una barreja insuficient i una baix rendiment de generació de biogàs.
[12] Per formació de capes de materials lleugers que inclouen midons, tubs de plàstic i poliestirè que suren a la part superior del digestor. Aquesta capa es pot secar formant-se una crosta que pot afectar el rendiment de generació de biogàs i pot danyar els elements interns del digestor.

- La disminució del volum actiu de reacció i càrrega orgànica associada a la presència de sòlids no biodegradables pesants i lleugers i acumulació d'inerts dintre del digestor.

- Problemes de mecànica de fluids no resolts, barreja dolenta i estratificació del digestor, formació de crostes a la part superior del digestor i sedimentació a la part inferior (zones mortes). El domini de paràmetres com la viscositat i el temps de residència dintre del digestor són fonamentals per evitar la formació de crostes i sedimentacions dintre del digestor.

- Problemes mecànics, en general, així com dificultats en l'extracció del digestat (o digerit)[13], embussos a la sortida del digestor i a la línea de deshidratació, problemes de manteniment per desgast dels equips.

La separació mecànica dels residus pot requerir una molt bona i dràstica selecció per a evitar col·lapses a la unitat de digestió i altres problemes als equips previs. Una selecció en planta per a assegurar l'absència de problemes disminueix notablement els rendiments de producció de biogàs previstos a partir del contingut de matèria orgànica dels RM d'entrada, ja que part d'ella s'anirà amb el rebuig. Aquest fet pot, a més, provocar problemes amb la reciclabilitat de les sortides de les unitats mecàniques (diferents de la corrent que va fins al digestor). En aquest sentit, i com s'ha dit, el seu contingut en matèria orgànica pot comprometre sèriament la viabilitat de la disposició en abocador de les sortides no reciclables.

Tanmateix, el factor més important que influeix en el rendiment del digestor és el tipus o la qualitat de la matèria orgànica alimentada al digestor. Així, el rendiments per kg. de sòlid volàtil (SV) procedents de FORM recollits selectivament són majors que els que procedeixen de MOR. A partir de les dades de plantes operades amb bioresidus amb una mitja de sòlids totals del 38% i de volàtils (SV) del 71% (sobre ST) poden obtenir-se rendiments de producció de biogàs de l'entorn de 0,55 m^3/kgSV, mentre que per al biogàs procedent de MOR (amb ST del 50-53% i SV del 57% sobre ST) els rendiments es situen a l'entorn de 0,35 m^3/kgSV).

A continuació es presenta un anàlisi d'algunes de les principals tecnologies de digestió anaeròbia (selecció).

3.1.2. VALORGA INTERNATIONAL SAS.

3.1.2.1. Introducció.

Valorga International SAS desenvolupa, dissenya i construeix plantes de tractament de residus incloent la digestió anaeròbia de les fraccions orgàniques amb el procés VALORGA.

Els accionistes majoritaris i igualitaris de VALORGA són l'empresa espanyola TECMED (Grup ACS) i l'empresa alemanya HESE especialista en la fabricació i subministrament d'equipaments per tractament de residus i metanització.

Valorga va construir la seva primera planta a escala industrial per tractar RESTA a l'any 1988 (Amiens, França). Des d'aquesta data ha subministrat plantes a diversos països de la UE per la digestió anaeròbia tant de FORM com de RESTA i actualment té el contracte per a la construcció de dues plantes a la Xina.

3.1.2.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés Valorga és un procés de digestió anaeròbia seca d'una etapa, continu, que opera en condicions mesofíliques o termofíliques.

El procés Valorga va ser dissenyat per a tractar residus sòlids orgànics. D'aquesta manera, aquest s'adapta al tractament de residus municipals: FORM i RESTA.

3.1.2.3. Descripció del procés.

Una instal·lació per tractament del residu orgànic d'acord amb el procés VALORGA, es composa de:

- Pretractament de la fracció orgànica.
- Digestió anaeròbica.
- Utilització de biogàs.
- Tractament de l'aire.
- Tractament d'excés d'aigua.

Pretractament de la fracció orgànica.

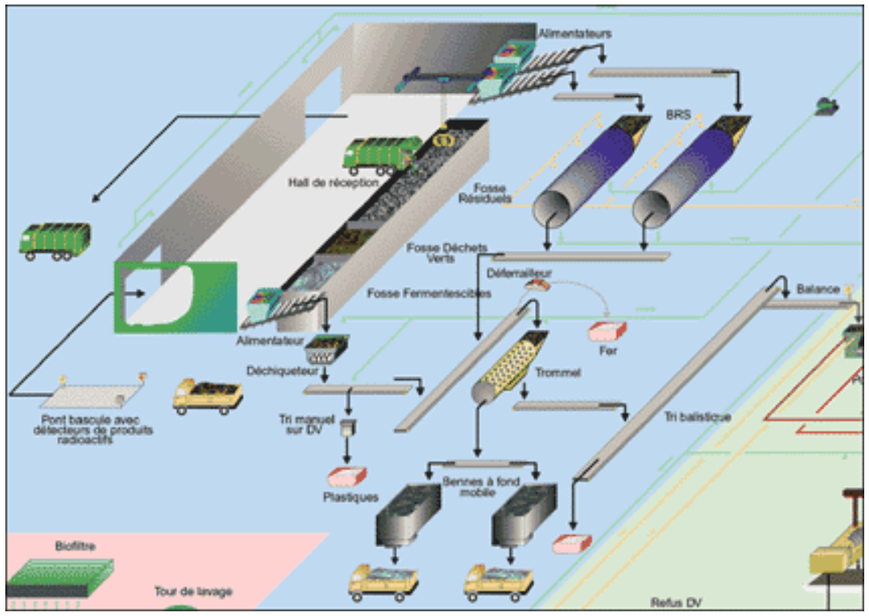
La unitat es composa de:

[13] Producte orgànic parcialment estabilitzat, resultat del procés de digestió anaeròbia.

– Un sistema que inclou pesatge, obridor de bosses, reducció de la grandària dissenyada d'acord amb el residu a tractar i retirada d'elements contaminants.

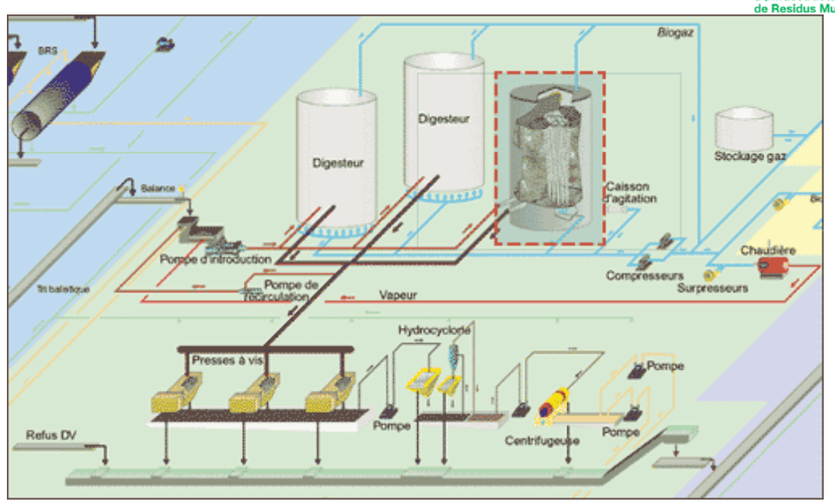
– Transportadors i tremuja per portar el producte a la unitat de digestió anaeròbia.

En funció de si es tracta de RM o FORM, el pretractament s'adapta a la composició del residu.



Font: Valorga

Figura 23. Esquema típic de procés VALORGA. Etapa de pretractament



Font: Valorga

Figura 24. Esquema típic de procés VALORGA. Etapes de digestió anaeròbia i deshidratació de digerit

El residu es prepara fins a arribar al contingut de matèria seca d'entrada al digestor (20 % a 35% depenent del tipus de residu).

La grandària de partícula ha de ser, preferentment, inferior a 60 mm.
La temperatura pot estar a un grau mesofílic (± 40 ºC) o grau termofílic (± 55 ºC).

El fermentador VALORGA és un digestor vertical cilíndric amb un disseny específic per a aconseguir un flux tipus pseudopistó de la matèria. El digestor té una paret vertical interior intermitja de l'entorn 2/3 del seu diàmetre.

Font: Valorga

Figura 25. Digestor VALORGA

Digestió anaeròbia.

S'ha demostrat que al tractar MOR, ha d'augmentar la quantitat de material recirculat al digestor.

Els orificis d'introducció i extracció estan a la base del digestor en ambos cares d'aquesta paret interior. Aquesta paret interior fa força a la matèria fermentable a que segueixi un moviment circular per anar a l'entorn d'aquesta, per a que el residu pugui solament extreure's després de cobrir la superfície total del digestor. Aquesta geometria garanteix que el residu romandrà un mínim de 2 setmanes en el digestor. Aquest aspecte és vital per a que, en cas de treballar de forma termofílica, poder garantir la higienització del compost.

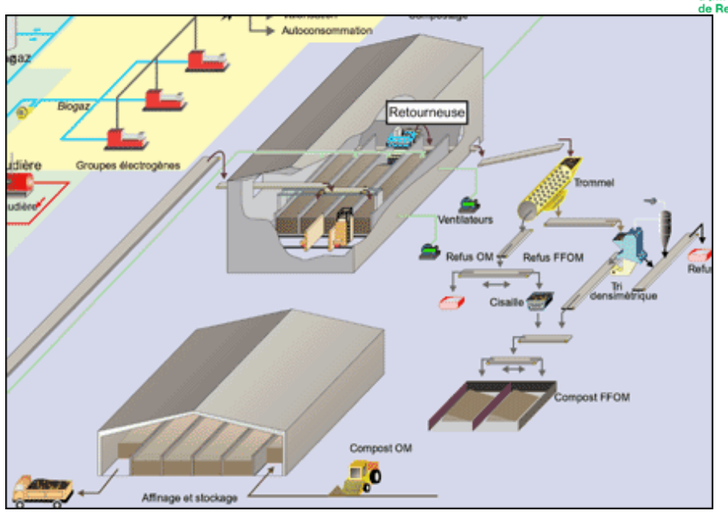
El sistema de barreja del sòlid a l'interior del digestor és pneumàtic: el biogàs és injectat a la base del digestor.

El biogàs utilitzat per la barreja gira entorn un circuit tancat. La compressió del biogàs es fa mitjançant un compressor a dos nivells (pressió a 8 bar), pressió superior a la necessària en la digestió d'humitat.

El producte digerit s'extrau del digestor i és sotmès a un procés de deshidratació mecànica amb diferents etapes (premsa cargol, hidrocicló, decantadora centrífuga o filtre banda), resultant en una fracció sòlida i una fracció líquida.

Una part de l'aigua procedent de la deshidratació del sòlid digerit s'utilitza per la dilució del residu d'entrada. La part restant es descarrega a la xarxa d'aigües residuals o es transfereix a la unitat de tractament d'excés d'aigua.

Les fraccions sòlides es transfereixen a la unitat de post-tractament aeròbi al seu magatzematge.



Font: Valorga

Figura 26. Procés VALORGA. Maduració i afí del compost

Utilització del biogàs.

La producció de biogàs varia entre 80–160 Nm^3 per tona alimentada al digestor.

El biogàs es pot utilitzar:

- Per a producció de vapor.
- Per a producció d'electricitat i calor.
- Després de la purificació de la mateixa manera que
- El gas natural (xarxa de gas ciutat, combustible per a vehicles, ...).

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que es pot emetre des de diverses seccions de la planta (barrejador, premsa, etc.) és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aeròbi. Aquesta unitat es composa d'un biofiltre, amb la finalitat d'eliminar les males olors.

Tractament de l'aigua excedentària.

Si la normativa local ho requereix, l'excés d'aigua es sotmet a un tractament addicional per a complir amb els estàndards específics d'abocament.

3.1.2.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Disposa d'un nombre significatiu de referències a diferents països de la UE amb FORM, RESTA i RM en massa. – Àmplia experiència amb el subministrament del seu procés de digestió. – Procés netament excedentari d'energia.	

3.1.2.5. Rendiments del procés. Balanç de masses i d'energia.

Balanç tipus de masses per cada 1.000 kg de residu a digestió (MOR)	
Entrades	
Entrada a digestió (MOR)	1.000 kg
Vapor	33 kg
Floculant per filtre banda	22 kg
Sortides	
Aigua en excés (sortida equips deshidratació)	313 kg
Sòlids (sortida equips deshidratació)	590 kg (48% MS)
Biogàs (sec)	146 kg
Condensat	6 kg

Alguns paràmetres característics del procés Valorga són els següents:

- Contingut de sòlids al digestor.....25 – 35 %
- Temps de retenció al digestor .....2 – 4 setmanes
- Producció biogàs..... 80 – 160 Nm^3 per tona alimentada al digestor
- Producció d'energia:
  - Elèctrica .....140 – 320 KWh per tona
  - Calorífica.....220 – 480 KWh per tona
- Consum d'energia:
  - Elèctrica .....25 – 50 KWh per tona
  - Calorífica.....20 – 30 KWh per tona

3.1.2.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat digestió (t/any)	Tipus de residu d'entrada a la planta
1987 / 1996 (ampliació)	Amiens, França	55.000+30.000	RM
1994	Tilburg, Holanda	52.000	FORM
1998	Engelkirschen, Alemanya	35.000	FORM
1999	Freiburg, Alemanya	36.000	FORM
2000	Ginebra, Suïssa	10.000	FORM
2001(*)	Cadis, Espanya	115.000	RM
2001	La Corunya, Espanya	142.000	RM
2002	Mons, Bèlgica	36.000	RM i FORM
2002	Varennes-Jarcy, França	67.000+33.000	RM i FORM
2003	Bassano, Itàlia	33.000+8.200+3.000	RM, FORM i fangs
2004	Montcada i Reixac (Barcelona), Espanya	120.000	RESTA
2005	Hannover, Alemanya	100.000 (entrada a planta)	RESTA
En construcció	Beijing, Xina	100.000 (entrada a planta)	RM
En construcció	Shangai, Xina	240.000 (entrada a planta)	RM

(*) La construcció va quedar parada

Taula 4. Referències Valorga

3.1.2.7. Resum. Conclusions.

- Empresa amb àmplia experiència amb el subministrament del seu procés de digestió anaeròbia seca que disposa d'un nombre significatiu de referències a diferents països de la UE amb FORM, RESTA i RM en massa.

3.1.3. OWS.

3.1.3.1. Introducció.

Organic Waste Systems (OWS) és una societat anònima belga, constituïda al 1988.

L'empresa està especialitzada en compostatge anaeròbic i assajos de biodegradabilitat.

OWS desenvolupa i té en la seva totalitat la patent de la tecnologia Dranco, desenvolupada l'any 1983.

Com a complement de la tecnologia Dranco, OWS ofereix assajos de laboratori i serveis de consultoria en tots els aspectes de tractament de residus sòlids biològics.

A Europa, OWS té la seva seu central a Gent, Bèlgica.

Cespa GR disposa de la llicència d'aquesta tecnologia per a Espanya.

OWS és una empresa ben coneguda a Europa per al subministrament de plantes de digestió anaeròbia, amb sis plantes actualment en operació per al tractament de RM i FORM.

3.1.3.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés Dranco és un procés sec de digestió anaeròbia d'una etapa operant en condicions termofíliques.

El procés Dranco va ésser desenvolupat per al tractament de substrats orgànics biodegradables. Aquests substrats poden ser la fracció orgànica procedent de RM, fangs de depuradora, residus de restaurants, residus industrials orgànics sòlids o semisòlids, etc.

3.1.3.3. Descripció del procés.

Les etapes principals del procés Dranco són les següents:

- Pretractament del residu.
- Digestió anaeròbica.
- Deshidratació.
- Utilització del biogàs.

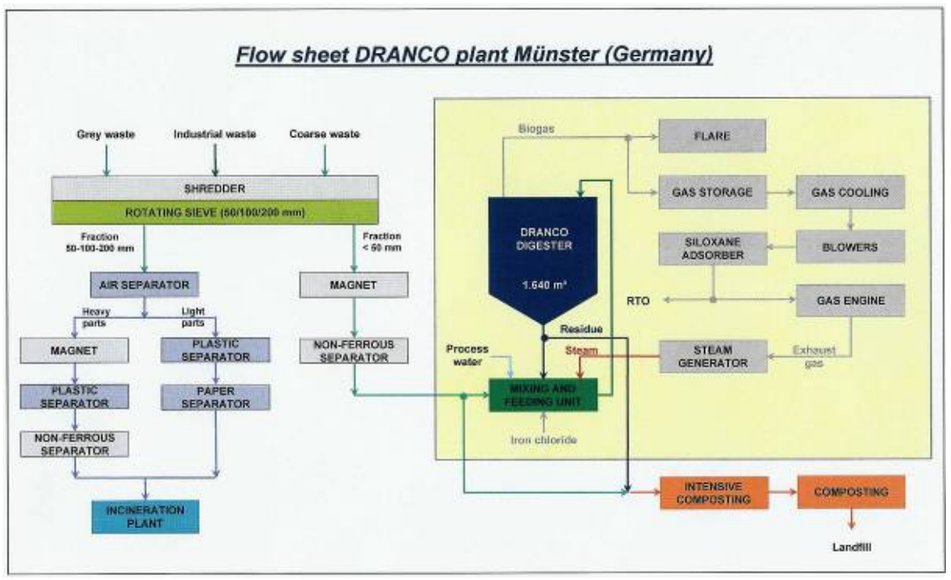
Pretractament del residu.

El pretractament del residu presenta diferents configuracions entre les diferents plantes de referència segons els objectius en cada cas.

En qualsevol cas, el residu (RESTA o FORM) es tritura i es garbella en un trommel de 40 mm per a eliminar les impureses.

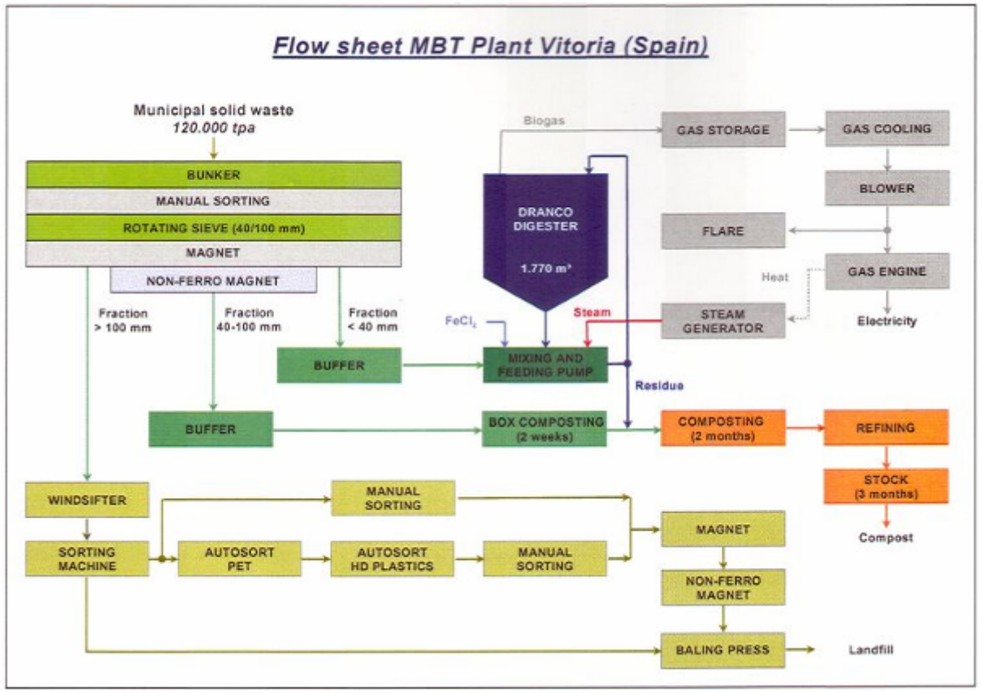
Les matèries gruixudes que no passen pel garbell s'envien a un contenidor, prèvia separació de metalls, mentre que la resta passa a un separador de metalls fèrrics i, posteriorment, és dipositat en un emmagatzematge intermedi, abans d'anar a la unitat de digestió. La entrada de material al digestor es realitza mitjançant bombes especials per alts continguts en sòlids (per exemple, bombes de formigó Putzmeister), de la mateixa manera que al procés VALORGA.

A continuació es presenta l'esquema del procés amb diferents configuracions del pretractament a diferents plantes de referència de DRANCO.



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 27. Esquema de procés Dranco. Planta de Münster (Alemanya)



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 28. Esquema de procés Dranco. Planta de Vitòria (Espanya)

Digestió anaeròbia.

La fracció orgànica fresca que ve del emmagatzematge intermedi es transporta fins la unitat de preparació de la bomba alimentadora.

La unitat de bombeig consisteix en una bomba de pistó de doble cilindre amb accionament hidràulic. S'addiciona vapor per a arribar a la temperatura del substrat a 55ºC. Posteriorment, el material es bombejat al digestor.

Aquest substrat s'introdueix per la part superior del digestor a través de 3 entrades.

Cada entrada s'utilitza alternativament d'acord amb un cicle de temps. La fermentació de la matèria orgànica té lloc en un digestor vertical (normalment fabricat en acer) sota condicions termofíliques. El digesto recirculat és de l'ordre de 6 i 1 respecte a l'alimentat al digestor i és l'única forma d'agitació al digestor.

El material passa a través del reactor de dalt a baix per on s'elimina per un sistema d'extracció. El residu extret s'envia parcialment a la unitat de preparació de la bomba alimentadora a on es barreja amb la fracció orgànica fresca i la resta es transporta parcialment al post-tractament.

Utilització del biogàs.

El biogàs produït, extret a una pressió de 12–25 mbar i a una temperatura de 50–52 ºC s'acumula en un gasòmetre.

El biogàs es filtra i desulfura mitjançant la adició de clorur de ferro abans de la seva utilització a la planta. La concentració de H_2S al biogàs es situa típicament a les plantes entre 500-1.500 ppm.

El biogàs s'utilitza en part en una caldera per a la producció de vapor de procés. La major part del biogàs es transforma en electricitat mitjançant motors de biogàs.

Deshidratació.

El residu digerit es barreja amb floculants (polielectrolit) abans de ser deshidratat en una premsa de cargol. El consum de polielectrolit és de, aproximadament, 1 kg per tona de residu digerit.

El floculant es prepara en una unitat de barreja a on es prepara una solució al 1,5%. La torta de la premsa cargol conté un 45-50% de matèria seca.

L'aigua de la premsa cargol s'envia a una centrifuga abans de ser conduïda a la planta de tractament d'aigües residuals.

La composició típica de l'efluent (centrat) de la centrífuga és la següent:

- Matèria Seca ..... 2,5 %
- DQO ..... 28.000 mgO_2/l
- DBO_5 ..... 8.000 mgO_2/l
- NH_4^+ ..... 2.000 mg/l
- N- total ..... 3.000 mg/l

Compostatge.

A determinades configuracions amb el procés Dranco s'inclou una etapa de compostatge.

Per exemple, a la planta de Bassum (Alemanya) la fracció de grandària entre 40-80 mm i el digestat s'envien a compostatge a naus tancades durant 4-5 setmanes.

Paràmetres característics del procés Dranco	
Procés de digestió	una fase
Temperatura del procés	50 – 55 ºC
Contingut de sòlids totals al digestor	15 – 30 %
Temps de retenció	15 - 30 dies
Càrrega	5 – 8 kg SV(*) / m^3 reactor · d
Biodegradabilitat	65 – 90 %
Producció del biogàs per tona d'entrada	120 – 170 Nm^3
Grau de producció del biogàs	3 – 5 Nm^3/m^3 reactor · d
Contingut en metà	50 – 65 % CH_4

(*) SV: Sòlids volàtils.

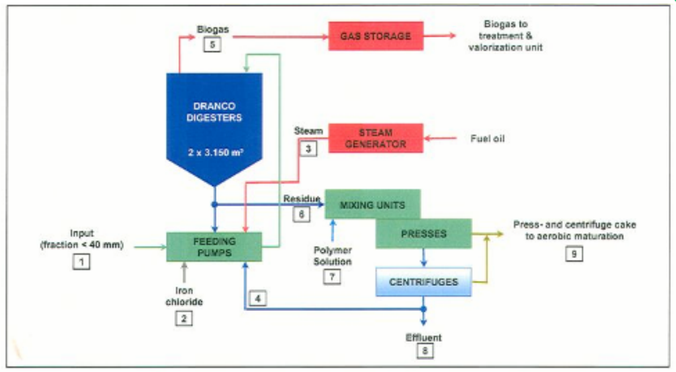
Taula 5. Paràmetres característics del procés Dranco

3.1.3.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Disposa de referències tractant RESTA. – Procés netament excedentari d'energia. – Disposa de diverses configuracions del procés segons els requeriments del mercat.	– No ha subministrat encara cap planta "claus en mà" per RM

3.1.3.5. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.

A continuació es presenta el balanç de masses del procés Dranco per a una planta tipus de capacitat de tractament de 80.000 t/any RESTA i 75.000 t/any FORM respectivament.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T/Y RESTO	80.000	1.440	1.630	8.225	15.555	75.740	3.785	8.100	63.200
TS (%)	50,0	33,0	---	2,5	90,0	38,0	1,8	2,5	45,0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T/Y FORM	75.000	0	1.500	0	15.165	61.335	4.600	35.155	30.780
TS (%)	35,0	---	---	---	90,0	23,9	1,8	2,5	45,0

Font: CESPA

Figura 29. Balanç de masses del procés Dranco per a una planta de capacitat de tractament de 80.000 t/any RESTA i 75.000 t/any FORM respectivament

3.1.3.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat a digestió (t/any)	Tipus de residu
1992	Brecht I, Bèlgica	20.000	FORM+residus paper
1993	Salzburg, Àustria	20.000	FORM
1997	Bassum, Alemanya	13.500	RESTA+residus banals
1998	Aarberg, Suïssa	11.000	FORM
1999	Kaiserslautern, Alemanya	20.000	RESTA+residus banals
1999	Villeneuve, Suïssa	10.000	FORM
2000	Brecht II, Bèlgica	50.000	FORM+residus paper
2003	Roma, Itàlia	40.000	RM en massa
2004	Leonberg, Alemanya	30.000	FORM
2005	Hille, Alemanya	38.000	RESTA+residus banals
2005	Terrassa, Espanya	25.000	FORM
2005	Münster, Alemanya	24.000	RESTA+residus banals
2005	Pusan, Corea del Sud	75.000	Residus de cuina
2006	Vitòria, Espanya	20.000	RM en massa

Any	Ubicació	Capacitat a digestió (t/any)	Tipus de residu
2006	Alacant, Espanya	30.000	RM en massa

Taula 6. Referències OWS

3.1.3.7. Resum. Conclusions.

- OWS disposa d'una àmplia experiència amb el procés de digestió Dranco. El procés és ben conegut a Europa, contant amb un nombre significatiu de referències amb, principalment, FORM i RESTA. El procés Dranco permet diferents configuracions segons els requeriments específics en cada cas.

- OWS ha tingut als últims anys un nombre significatiu de nous contractes el que s'entén com una confiança del mercat en la tecnologia.

3.1.4. KOMPOGAS.

3.1.4.1. Introducció.

A final dels anys 80, Walter Schmid, empresari i propietari d'una empresa constructora establerta al nord de Zurich i pionera en el desenvolupament i l'aplicació de sistemes basats en energies alternatives, va estudiar el potencial d'energia sense utilitzar que representava la fracció orgànica continguda als residus municipals i, a la vegada, la manca de tecnologies adaptades per a aprofitar-ho.

El procés Kompogas és el resultat d'investigacions bàsiques, anàlisi de les propietats físiques de la matèria prima i les seves possibilitats d'aplicació, de campanyes de prova i de l'experiència adquirida en una planta pilot.

Tot el relacionat amb atorgament de llicències i la construcció de plantes van a càrrec de W. Schmid AG, amb seu en Glattbrugg (Suïssa).

3.1.4.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés Kompogas és un procés de digestió anaeròbia en fase seca d'una etapa operant en condicions termofíliques.

El digestor cilíndric i horitzontal, és de tipus flux pistó i està equipat amb un dispositiu per la agitació mecànica.

3.1.4.3. Descripció del procés.

Preparació de la fracció orgànica.

En la línea de pretractament es tracten els residus, amb una separació per mida (igual o inferior a 50 mm) per a facilitar la degradació pels microorganismes durant la digestió i, s'eliminen els elements impropis més importants, presents a la fracció orgànica a tractar com metalls, plàstics, vidre, inerts, etc. no desitjables a la digestió.

La capacitat de la sitja d'emmagatzematge intermedi, equivalent al volum de dos a tres dies de producció, garanteix el funcionament continu i automàtic del procés de digestió anaeròbia i compleix la funció d'etapa d'hidròlisi. Durant l'emmagatzematge es posen en marxa processos hidrolítics i autotèrmics que afavoriran la digestió anaeròbia posterior.

La digestió anaeròbia pròpiament comença al extreure'n la matèria prima de la sitja d'emmagatzematge intermedi. El transport al digestor, el realitza una potent bomba hidràulica. Durant el trajecte al digestor, el substrat es precondiciona mitjançant un sistema d'intercanvi tèrmic, a on s'eleva la seva temperatura als 55-60 ºC necessaris per al procés al digestor. Per a iniciar la digestió anaeròbia abans del digestor, es recircula part de la fracció ja digerida, la qual conté microorganismes actius i s'injecta a la canonada d'alimentació.

Digestió anaeròbia.

De disseny horitzontal, el digestor Kompogas amb avanç discontinu (flux pistó), temperatura termofílica de treball, i temps de retenció de 20 dies, assegura la higienització del sòlid digerit.

Aquest digestor es pot construir tant en acer com en formigó (existint referències en ambdós casos).

En funció de la composició dels residus, s'obtenen de 100 a 150 Nm^3 de biogàs per tona de residus, amb un contingut en metà d'aprox. un 60%.

Una segona bomba hidràulica extrau del digestor els residus de la digestió anaeròbia i els alimenta al sistema de deshidratació per premses on s'obté un sòlid orgànic i una fracció líquida.

En les plantes Kompogas europees, l'horari de recepció dels residus sol ser de dilluns a divendres durant el torn de dia. Durant aquest temps, es realitza el tractament previ i la seva alimentació a la sitja d'emmagatzematge intermedi. Des d'aquest moment, el procés operaria de manera automàtica durant 365 dies a l'any i 24 hores al dia.

En general, el mòdul de recepció i tractament previ s'instal·la a certa distància dels mòduls Kompogas per a possibilitar una eventual ampliació d'aquests últims, si fos necessari o desitjat. Les plantes de Kompogas es construeixen amb unitats modulars sent el rang de les plantes de 5.000 a 100.000 t/any.

Font: Kompogas

Figura 30. Digestor de Kompogas. Planta de Roppen (Àustria) per una capacitat de 10.000 t/any

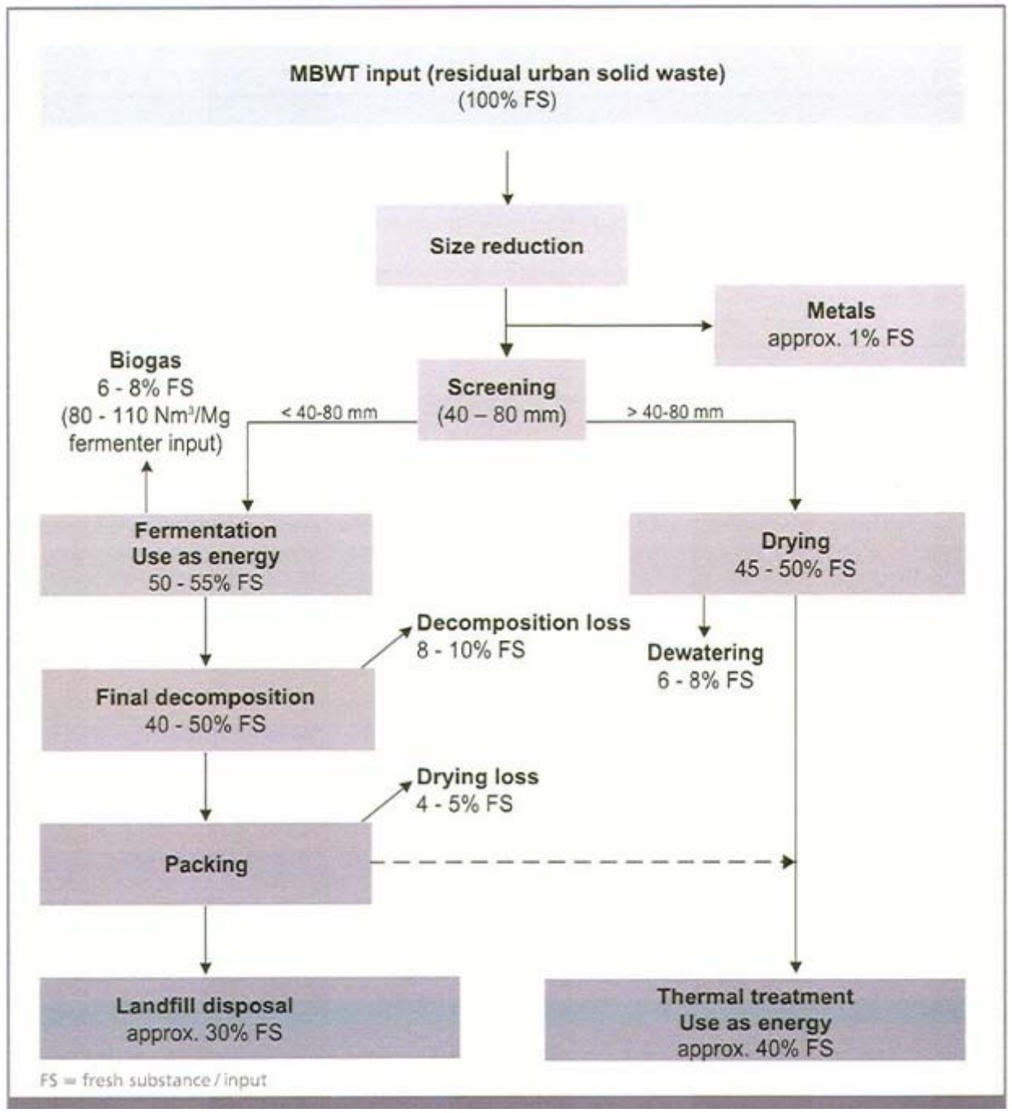
Utilització del biogàs.

Durant la digestió anaeròbia s'extrau biogàs que, després de l'assecat, s'utilitza directament als motors de biogàs. De l'energia produïda, el 25% s'utilitza per a cobrir el consum de la planta de digestió i el 75% és energia excedent que s'exporta a la xarxa de distribució d'electricitat local o s'utilitza en un sistema de calefacció municipal.

En general, les plantes Kompogas estan connectades a les xarxes de distribució locals. Als usos interns, l'energia tèrmica produïda serveix per a preescalfar el substrat i regular la temperatura entorn de l'envoltant del digestor. En un cas concret, l'excedent s'aprofita per la calefacció de zones residencials veïnes.

Deshidratació.

El digestat s'extreu dels digestors cap a unes premses de cargol per a la seva deshidratació abans de l'estabilització aeròbia. Les aigües de premsat s'utilitzen (en part) per cobrir les necessitats internes del procés de digestió. Si n'hi ha excés d'aigües de premsat, aquestes poden ser reutilitzades per a cobrir les necessitats internes del procés d'estabilització aeròbia.



Font: Kompogas

Figura 31. Esquema general del procés Kompogas per tractament de RESTA

Els paràmetres característics del procés Kompogas es presenten a la taula següent:

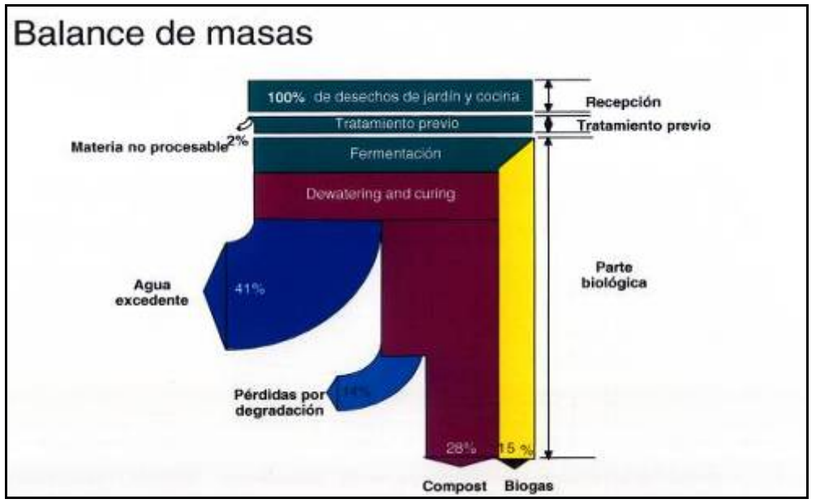
Paràmetres característics del procés Kompogas	
Paràmetres de procés	
Substrat alimentat, % MS	30
Temperatura, °C del digestor	50 – 60
Grau de càrrega, kg SV/m^3 reactor-dia	--
Temps de retenció al digestor, dies	15 – 20
Biogàs, m^3/t de residu	100 – 150
Metà en biogàs, %	60
Sòlid digerit, % MS	--
Sòlid deshidratat, % MS	40

Taula 7. Paràmetres característics del procés Kompogas

3.1.4.4. Avantatges i inconvenients.

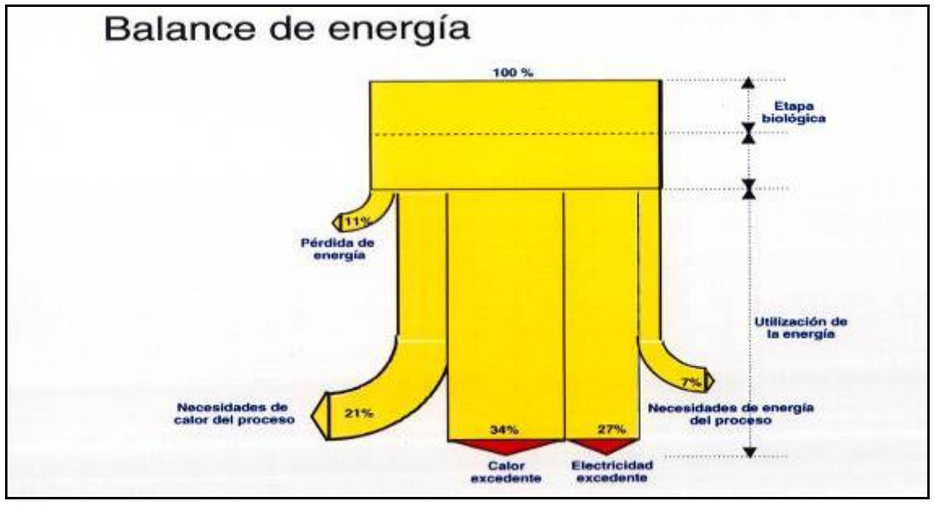
Avantatges	Inconvenients
– Disposa de nombroses referències amb digestió de FORM a diferents països. – Àmplia experiència amb el subministrament del seu procés de digestió. – Procés netament excedentari d'energia.	– Disposa d'un nombre molt limitat de referències amb digestió de RESTA.

3.1.4.5. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.



Font: Kompogas

Figura 32. Balanç de masses tipus del procés Kompogas



Font: Kompogas

Figura 33. Balanç d'energia tipus del procés Kompogas

3.1.4.6. Referències.

Plantes Kompogas en funcionament o construcció			
Any	**Ubicació**	**Capacitat a digestió (t/any)**	**Tipus de residu**
1991	Rümlang, Suïssa	3.500 + 5.000	FORM
1994	Bachenbülach, Suïssa	10.000+4.000	FORM
2003 (ampliació)			
1995	Samstagem, Suïssa	10.000	FORM
1996	Kempten, Alemanya	10.000	FORM
1996	Otelfigen, Suïssa	12.000	FORM
1997	München-Erding, Alemanya	25.500	FORM
1997	Lustenau, Àustria	10.000	FORM
1997	Hunsrück, Alemanya	10.000	FORM
1998	Niederuzwil, Suïssa	15.000 + 10.000	FORM
2005 (ampliació)			
1999	Alzey-Worms, Alemanya	26.000	FORM
1999	Frankfurt, Alemanya	30.000	FORM
2000	Volketswil, Suïssa	5.000	FORM
2001	Roppen, Àustria	10.000	FORM
2001	Braunschweig, Alemanya	21.000	FORM
2001	Oetwil am See, Suïssa	10.000	FORM
2001	Bachenbülach, Suïssa	4.000	FORM
2003	Weissenfels, Alemanya	12.500+12.500	FORM
2006 (ampliació)			
2004	Kyoto, Japó	20.000	FORM
2004	Passau, Alemanya	39.000	FORM
2004	Martinique, Karibik	20.000	FORM
2005	Jona, Rapperswil, Suïssa	5.000	FORM
2005	Lenzburg, Suïssa	5.000	FORM
2005	La Rioja, Espanya	75.000	RM
2006	Pratteln, Suïssa	12.500	FORM
2006	Ottenbach / Affoltern am	16.000	-

Plantes Kompogas en funcionament o construcció			
Any	**Ubicació**	**Capacitat a digestió (t/any)**	**Tipus de residu**
	Albis, Suïssa		
2006	Aarberg, Suïssa	12.000	-
2008	Montpellier, França	100.000	-

Taula 8. Referències Kompogas

3.1.4.7. Resum. Conclusions.

- Kompogas disposa d'una àmplia experiència en el procés. El procés és ben conegut a Europa, contant amb nombroses referències amb, bàsicament, FORM.

- Kompogas ha tingut als últims anys un nombre significatiu de nous contractes, i en algunes plantes s'ha ampliat la capacitat de tractament, el que s'entén com una confiança del mercat en la tecnologia.

3.1.5. LINDE.

3.1.5.1. Introducció.

Linde-KCA-Dresden GmbH, una empresa del consorci Linde AG, Wiesbaden, juntament amb l'empresa Linde BRV Biowaste Technologies AG, és una de les principals empreses subministradores de plantes TMB. Linde-KCA va presentar amb una facturació de 197 M € (any 2004) i conta amb 554 empleats. Linde pot subministrar diferents processos: digestió via seca o humida, o compostatge en túnels o en piles airejades amb volteig automàtic.

El tractament biològic de residus, depuració d'aigües residuals i tractament de fangs són les activitats bàsiques que es desenvolupen als centres de Dresden i Munich (Alemanya).

L'experiència i la competència de les tecnologies desenvolupades és molt àmplia contant amb més de 300 plantes o processos per al tractament d'aigües i fangs.

Als anys 70 es va començar amb el tractament biològic de fangs de depuració d'aigües residuals i des del principi dels 80 es va ampliar aquest camp amb processos de tractament anaeròbic-biològic de residus per a aprofitar la formació de biogàs.

Inicialment l'activitat es va centrar en les plantes per al tractament de purins i fins la data s'han realitzat 30 plantes de diferents nivells tecnològics pel tractament de purins incloent la primera planta de grandària industrial construïda a l'any 1984.

A partir de les experiències i referències de plantes per al tractament de purins, fangs i d'aigües industrials (paper, cel·lulosa, residus alimentaris, etc.), des de 1990 treballa amb el tractament anaerobi de residus municipals.

Linde pot tant fer subministres de plantes tipus "claus en mà" (incloent els equips de pretractament i separació mecànic) com equips específics del procés.

3.1.5.2. Descripció general de les tecnologies.

El procés de digestió anaeròbia de Linde-KCA és de via humida[14], en una o dues etapes, que pot operar en condicions termofíliques o mesofíliques.

El procés Linde-BRV és del tipus sec, amb digestor de flux pistó, de doble etapa i termofílic.

El procés de compostatge de Linde pot realitzar-se en túnels o en piles airejades (veure apartat *Referències*).

Linde comercialitza i subministra diferents tipus de processos TMB, sense que es comercialitzi una "configuració típica".

A continuació es presenta una breu descripció dels processos de tractament biològic de Linde configurat a diferents plantes.

3.1.5.3. Descripció del procés (digestió via humida).

Preparació de la fracció orgànica.

Per a la preparació de la fracció orgànica, en el cas de fermentació humida, es preparen els residus en una suspensió que pugui bombejar-se. Al mateix temps, la càrrega de matèria sòlida ha de mantenir la major superfície possible per a l'atac bacterià.

[14] L'aplicació preferida per Linde d'aquesta opció amb digestió humida és la codigestió de FORM amb fangs i/o purins.

Les matèries pertorbadores del procés s'han d'extreure de la suspensió. Sempre que es tractin residus municipals procedents d'àrees suburbanes o rurals, s'ha de comptar amb un percentatge més elevat de components minerals i terra en la suspensió, que exigeixen una posterior depuració.

Depenent de les condicions locals, s'empraran per a això, per exemple una classificació hidràulica o un hidrocicló.

Normalment, l'etapa de pretractament consta de:

- L'esmicolament previ en un molí.
- Una classificació per mida amb un trommel (p.e. amb pas de 100 mm) obtenint-ne:
  - Una fracció (> 100 mm) aprofitable com CDR (prèvia eliminació de metalls fèrrics i no fèrrics).
  - Una fracció (< 100 mm) rica en matèria orgànica com a material de partida per a la suspensió fermentable enviada a un pulper per a la preparació de la suspensió.
- La retirada del metalls fèrrics i no fèrrics.
- L'esmicolament selectiu final, l'eliminació de materials pertorbadors residuals i la maceració per a produir una suspensió bombejable. Es realitza en funció dels condicionants locals i característiques dels residus en cada cas, podent ser les següents seqüències:
  - Esmicolament fi amb maceració integrada i separació de matèria flotant i materials pesats no fèrrics en un equip. La suspensió homogeneïtzada es macera fins a arribar a una grandària de partícula inferior a 5 mm.
  - Preparació en humit de dos etapes amb esmicolament fi i eliminació de matèria pesada gruixuda en la primera fase, així com retirada de matèria flotant i sorres del macerat en la fase següent.
  - Esmicolament, eliminació de sediments en la maceració i retirada de matèria flotant en la fase d'hidròlisi.

En aquests equips es barreja el residu d'aigua procedent de la deshidratació i es genera una suspensió de macerat d'aprox. 10-13% MS.

En aquest tanc es porta a terme un procés d'hidròlisi on el residu romandrà entre 2 - 3 dies.

<u>Digestió anaeròbia.</u>

En aquest punt del procés, la matèria orgànica hidrolitzada i macerada es carregada alternativament als digestors (en un procés del tipus batch seqüencial alternatiu).

Aquests reactors compten amb unes llances d'injecció de biogàs per a homogeneïtzar el contingut i evitar la formació d'una capa flotant.

Es manté la temperatura constant per mitjà d'un intercanviador de calor extern. Quan el procés es dissenya per a tractar RM[15], la digestió anaeròbia es realitza primordialment en condicions mesòfiles.

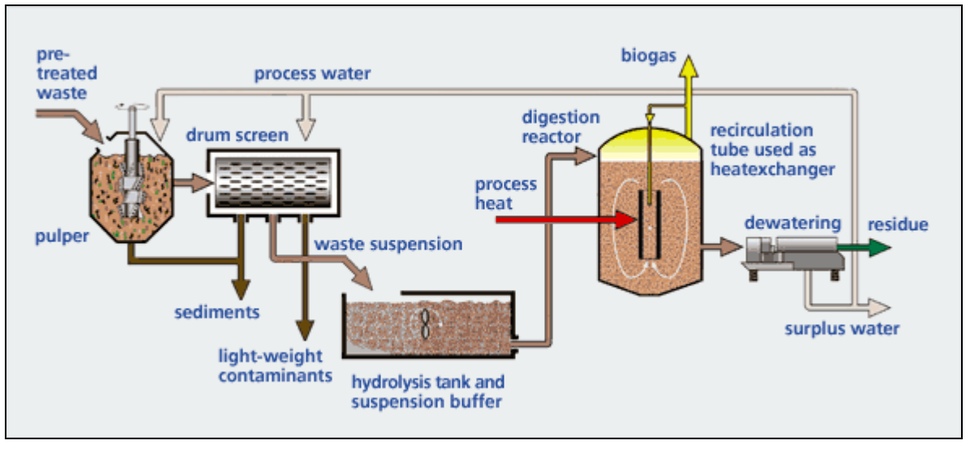
El biogàs format s'acumula a un gasòmetre per a ser utilitzat posteriorment a la caldera de calefacció per al propi consum i com a combustible de la central de cogeneració.

Els sòlids sortints del digestor (digestat) es deshidrata. El digestat s'envia a una zona de maduració posterior.

Les aigües clarificades de l'etapa de deshidratació són recirculades al pulper per a macerar el residu als homogeneïtzadors. L'excés del centrifugat, contenint bona part de la humitat inicial del propi residu, serà tractat com aigua residual en una planta de tractament químic-físic i biològic, prèviament al seu abocament.

El biogàs format es dirigeix a un gasòmetre per a ser utilitzat posteriorment a la caldera de calefacció per al propi consum i com a combustible de la central de cogeneració.

[15] Les referències de Linde amb digestió humida tractant RM són les corresponents a les plantes de Barcelona (Ecoparc 1), Madrid, Burgos i Las Palmas de Gran Canaria (Espanya).



Font: Linde

Figura 34. Esquema general del procés Linde-KCA

Utilització del biogàs.

Per a l'aprofitament del biogàs s'elimina prèviament l'aigua i, en cas necessari, l'àcid sulfhídric.

Linde ha implementat tres sistemes diferents de tractament de biogàs per a la reducció del contingut d'àcid sulfhídric a les seves plantes TMB amb digestió anaeròbia.

En aquest cas, el sistema més habitual és l'adició de clorur fèrric a les seves plantes amb digestió humida.

La segona tècnica és un sistema patentat per Linde basat en l'adició controlada d'aire a la part superior del digestor (espai de gas del digestor) per a reduir l'acció de les bactèries generadores d'àcid sulfhídric. Aquest sistema s'ha utilitzat a les plantes de digestió humida de Linde a Espanya conjuntament amb l'addició de clorur fèrric.

La tercera tècnica per a la reducció del contingut d'àcid sulfhídric és la desulfuració biològica, que Linde ha utilitzat, per exemple, a la seva planta de referència amb digestió seca a Valladolid (Espanya).

Deshidratació.

Els fangs digerits es deshidraten en decantadors centrífugs o d'altres equips de separació sòlid-líquid.

El grau de recuperació de sòlids es controla mitjançant l'adició controlada de floculants.

Les aigües clarificades es recirculen a capçalera de planta per a macerar el residu. L'excés d'aigua es condueix a un tractament d'aigües residuals de tipus físic-químic i biològic.

Òbviament, el balanç hídric depèn del contingut d'humitat del material d'entrada. En promig, el contingut en DQO de l'aigua és de 2.000 a 4.000 mgO_2/l, mentre que la relació DQO/DBO_5 és de 4 a 7.

Els sòlids deshidratats s'envien a una zona de maduració posterior.

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que pot emetre's des de diverses seccions de la Planta (barrejador, premsa o centrífugues, etc.), és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels àrees de recepció i post-tractament aeròbic. Aquesta unitat es composa d'un biofiltre, amb la finalitat d'eliminar les males olors.

Els paràmetres característics del procés de digestió Linde-KCA es presenten a la taula següent:

Paràmetres de procés	
Temps de retenció hidràulic	16 dies
Càrrega orgànica	6,25 kg/m^3 reactor-dia
Degradació de Sòlids Volàtils	40 – 60 %
Producció de biogàs	83 – 125 Nm^3/Tm FORM
Producció de biogàs	2 – 3 Nm^3/m^3 reactor-dia
Concentració CH_4	65 %
Concentració H_2S	0,03 %

Taula 9. Paràmetres característics del procés de digestió Linde-KCA

3.1.5.4. Descripció del procés (via seca).

Preparació de la fracció orgànica.

Els residus orgànics[16] a tractar es descarreguen a la platja de recepció a on es retiren els voluminosos.

Una pala carregadora descarrega el residu a l'alimentador que incorpora uns cargols al final del mateix amb l'objectiu d'obrir bosses existents i esmicolar el residu.

De l'alimentador surt una cinta amb el residu sobre la que s'instal·la un separador magnètic amb la finalitat de separar els metalls fèrrics.

A partir d'aquest punt existeixen diverses possibilitats per al pretractament, depenent del tipus de residu a tractar. La més habitual és col·locar un trommel amb un pas de malla inferior a 100 mm (habitualment 70 mm), el passant es dirigeix al dipòsit de barreja.

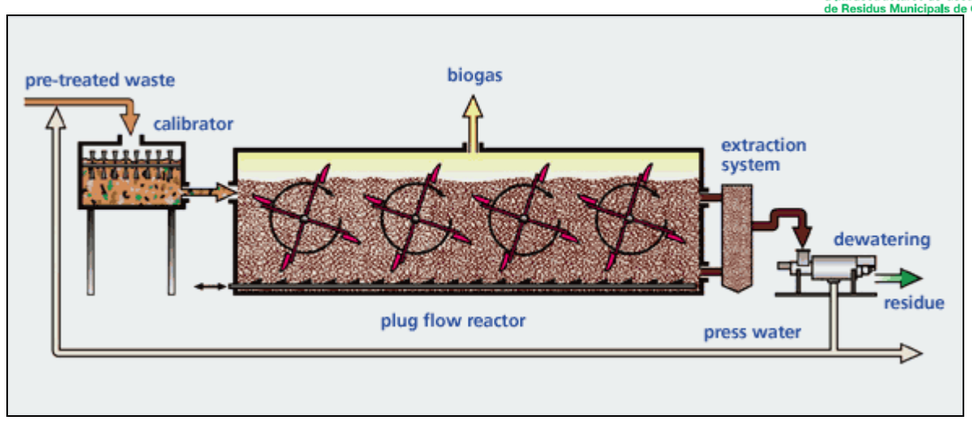
La fracció major de 70 mm es dirigeix a un molí, i es a passa per un garbell per a enviar al procés de digestió. La fracció gruixuda del pretractament, prèvia retirada dels metalls, es gestiona com a rebuig.

Digestió anaeròbia.

Abans de dirigir-se a la digestió anaeròbia, els residus sòlids passen per un precompostatge per acidificar el residu. Aquesta etapa compleix una labor d'una etapa d'hidròlisi en altres tecnologies de digestió. El precompostatge dura entre 2 i 4 dies i redueix en pH fins un valor d'entre 4 i 5, i es porta a terme en uns caixons similars a un túnel de compostatge però oberts, construïts amb una estructura metàl·lica.

Per la part inferior del caixó s'injecta aire en defecte, per a que es tinguin les condicions d'hidròlisi i no es produeixin males olors. La zona inferior del caixó és un transportador de sòlids, mogut hidràulicament, que va empenyent el residu fins a la sortida. En aquest punt el recull un cargol de transport que el porta fins al digestor.

Els digestors són horitzontals equipats amb agitadors mòbils muntats en disposició perpendicular. El material de construcció és formigó anticorrosiu.



Font: Linde

Figura 35. Esquema digestors Linde-BRV

L'escalfament del digestor es realitza amb aigua que, a la vegada, s'ha escalfat amb els gasos de combustió dels motors de biogàs. Els digestors treballen en condicions termofíliques (55-58ºC) amb un temps de retenció de 25 dies.

Els digestors es dissenyen per unes concentracions de 15% a 45% MS al substrat de digestió.
Amb l'energia tèrmica disponible als motors de biogàs s'escalfa també el sòlid digerit abans de la deshidratació.

Un homogeneïtzador horitzontal impedeix la formació d'una capa de materials flotants i sedimentats. Al mateix temps s'afavoreix la separació del biogàs format gràcies al moviment del material.

Al fons del digestor s'instal·la un rascador mogut hidràulicament i de moviment intermitent. Aquest equip assegura l'arrossegament dels sediments pesats, tals com sorra o pedres fins el punt d'evacuació situat al l'extrem del digestor.

Els residus travessen el digestor seguint el principi de flux pistó. Segons aquest principi el material que entra, desplaça al material existent fins a la sortida del digestor. D'aquesta manera, en principi totes les partícules de residu tindrien el mateix temps de retenció.

La quantitat de material que s'alimenta diàriament al digestor defineix el temps de retenció i al mateix temps el grau de degradació de la matèria orgànica.

[16] La referència de Linde amb digestió seca tractant RM és la corresponent a la planta de Valladolid.

El biogàs s'extrau a una pressió positiva de 25 mbar i després es comprimeix a 2 bar. El sòlid s'extrau del reactor per quatre punts, mitjançant un sistema de buit.

Deshidratació.

El sòlid procedent del digestor es dirigeix al sistema de deshidratació consistent en una premsa de cargol que porta el fang del 22 % MS a la sortida del digestor a aprox. 37% MS.

La torta, amb una presència dominant mineral, conté encara la matèria orgànica suficient per a fonamentar i desenvolupar el procés de compostatge posterior.

Per altra banda, el fang líquid que es recull al separador deshidratador, servirà per a augmentar la humitat del material que s'introdueix al digestor.

Utilització del biogàs.

El biogàs generat als digestors passa successivament per una unitat de deshumidificació, gasòmetre i bufadors per a alimentar els motors de biogàs.

El biogàs s'utilitza completament en la producció d'energia elèctrica mitjançant un motor de combustió interna. Aquesta energia s'empra per al consum propi de la instal·lació, venent-se els excedents a la xarxa. L'aigua de refredament del motor s'empra per a la calefacció de l'aire de ventilació, de l'edifici i del digestor. Existeix un emmagatzematge d'aigua calent suficient per les necessitats d'un dia de calefacció del digestor.

La depuració del biogàs es realitza mitjançant desulfuració biològica/catalítica amb aportació d'una quantitat controlada d'oxigen al digestor per a inhibir la formació de sulfhídric.

La producció de biogàs seria de l'ordre de 150 Nm^3 per tona de suspensió introduïda al digestor, amb un 50 – 70% de contingut de metà i 200 a 400 ppm H_2S.

Balanç d'energia	
Producció bruta d'electricitat (rend. elèctric = 33 %)	193 $kWh/t_{entrada}$
Autoconsum elèctric	42 $kWh/t_{entrada}$
Venda d'electricitat	152 $kWh/t_{entrada}$

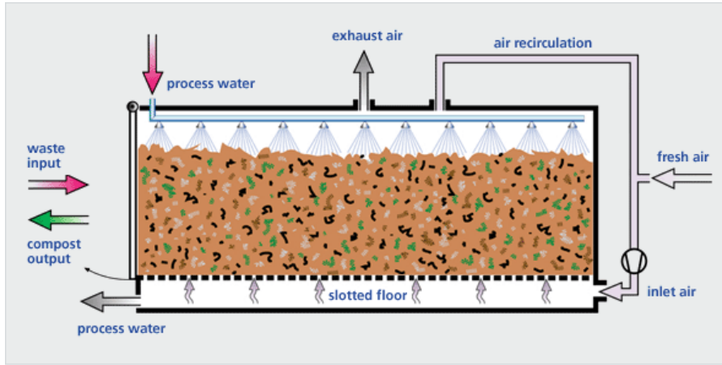
Els paràmetres característics del procés són els següents:

Paràmetres característics del procés LINDE-BRV	
Paràmetres de procés	
Substrat alimentat, % MS	31 – 34
Temperatura, °C del digestor	57
Temps de retenció al digestor, dies	25
Metà en biogàs, %	50 – 70
Sòlid digerit, % MS	22
Sòlid deshidratat, % MS	37 – 40
Balanç de matèria per tona de residu tractat	
Biogàs, m^3	150
Sòlid, kg	280
Aigües residuals, kg	564
Balanç d'energia per tona de residu tractat	
Producció bruta d'electricitat (rend. elèctric = 33 %)	193 kWh
Autoconsum elèctric	42 kWh
Venda d'electricitat	152 kWh

Taula 10. Paràmetres característics del procés de digestió Linde-BRV

3.1.5.5. Compostatge en túnels.

Els túnels de compostatge de Linde poden ser de càrrega i descàrrega automàtica o simplement amb pala carregadora.



Font: Linde

Figura 36. Túnels de compostatge Linde

A més del compostatge de FORM, el sistema de compostatge en túnels de Linde s'ha implantat de manera individual o en combinació amb els processos de digestió humida a cinc plantes per a bioestabilitzar el digestat (veure *Referències*).

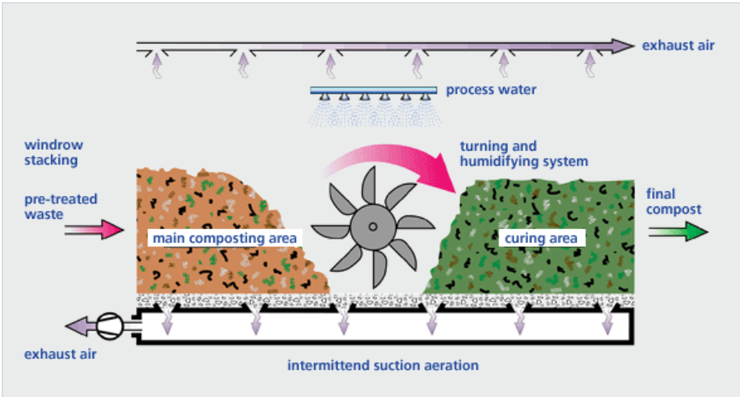
3.1.5.6. Compostatge en piles airejades (volteig automàtic).

Les primeres instal·lacions TMB de Linde empraven aquesta tecnologia per a tractar la fracció orgànica separada mecànicament dels RM (MOR). Aquesta no ha estat implantada com a element bàsic del procés des de l'any 1994.

El procés es basa en un volteig automàtic de piles airejades amb un sistema d'aspiració d'aire intermitent. Aquest procés està especialment indicat per grans capacitats de tractament.

Linde ofereix aquest procés en dues configuracions:

- amb volteig un cop per setmana durant un període de 8-12 setmanes i,
- amb la incorporació de controls del procés d'aireació, volteig i rec del material. En aquest cas, el material es volteja en intervals de temps curts durant un període de 3-5 setmanes.



Font: Linde

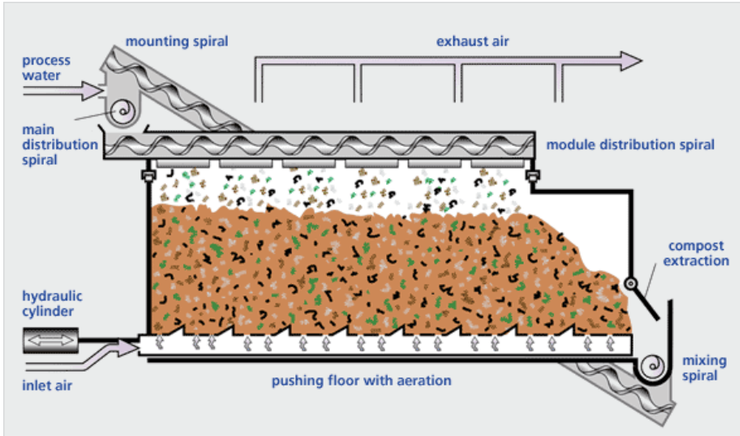
Figura 37. Compostatge en piles airejades (volteig automàtic) Linde

3.1.5.7. Mòduls de compostatge intensiu.

Al procés de compostatge de Linde, conegut com *Mòduls de compostatge intensiu*, el residu s'alimenta automàticament mitjançant un conjunt de sense fi i es pot voltejar automàticament I descarregar-se en funció del progrés del procés de compostatge.

L'aireació es realitza mitjançant volteig i impulsió d'aire. El procés s'utilitza per diferents tipus de residus com FORM, RESTA o digestat.

Aquest procés és especialment indicat per capacitats de tractament petites i mitjanes.



Font: Linde

Figura 38. Mòduls de compostatge intensiu de Linde

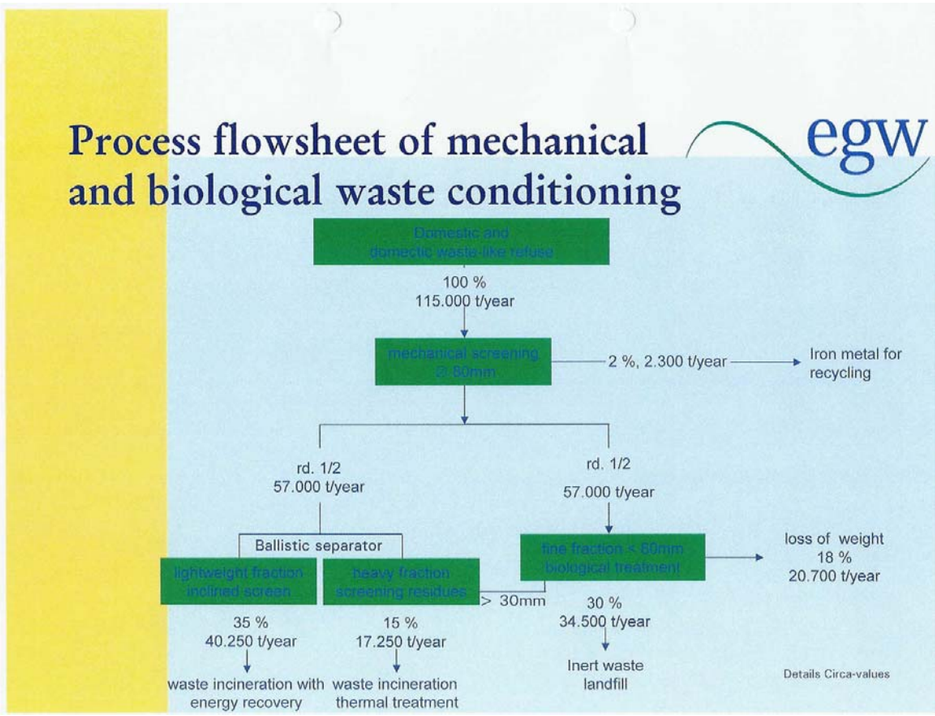
3.1.5.8. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Disposa d'un nombre significatiu de referències a diferents països de la UE per al tractament de FORM i RESTA. – Àmplia experiència amb les diferents etapes i configuracions dels processos TMB. – Linde pot tant fer subministres de plantes tipus "claus en mà" (incloent els equips de pretractament i separació mecànic) com equips específics del procés.	

3.1.5.9. Rendiments del procés. Balanços de masses.

A continuació es presenten les dades principals i balanç de masses per la planta TMB de Linde a Borken (Alemanya).

- Tractament de 85.000 t/any de fracció RESTA.
- Post-tractament de fracció combustible.
- Inclou una planta de compostatge de FORM, en servei des de l'any 1997 (45.000 t/any).
- Tractament fracció RESTA: separació mecànica, compostatge intensiu durant 4 setmanes (en servei des de l'any 2000) i maduració durant 10 setmanes (en servei des de l'any 2004).
- També reben residus banals (comercials i industrials).
- Entren a la planta 200 matalassos diaris que van a incineració (a 190 €/t).



Font: Linde

Figura 39. Planta TMB de Borken (Alemanya). Esquema i balanç de masses del procés

3.1.5.10. Costos.

A la taula següent es presenten els costos d'inversió per algunes de les plantes més recents de Linde:

Planta	Capacitat digestió (t/any)	Nombre digestors	Volum digestors (m^3)	Nombre túnels compostatge	Inversió (M€)
Barcelona, Espanya	90.000	4	6.700	38	48
Madrid, Espanya	73.000	2	7.000	12	36
Linz, Àustria	40.000	0	-	16	19
Borken, Alemanya	63.000	0	-	26	14,5

Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Taula 11. Costos d'inversió orientatius d'algunes plantes de referència de Linde

Els costos a l'entrada a la planta de Borken (Alemanya) són els següents: 140 €/t (fracció RESTA), 88 €/t (FORM).

3.1.5.11. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat	Abast de Subministrament

			Equips de pretractament	Subministrament d'equips per a plantes "no claus en mà"		Plantes "claus en mà"	
				Túnel de compostatge	Digestió seca o humida	Túnel de compostatge	Digestió seca o humida
1978	Zell am See, Àustria	30.000	✓			✓	
1978	Capella Cerezara, Itàlia	25.000	✓				
1979	Praga, República Txeca	70.000	✓				
1979	Mantua, Itàlia	25.000	✓				
1979	Allerheiligen, Àustria	18.500	✓			✓	
1980	Stromstad, Suècia	22.500	✓	✓			
1981	Liezen, Àustria	12.500	✓			✓	
1982	Pontives (Groden), Itàlia	32.000	✓			✓	
1985	Aspach le Haut, França	50.000	✓			✓	
1985	Graz, Àustria	100.000	✓				
1985	Dubai, Emirats Àrabs	30.000	✓				
1986	Al Ain, Emirats Àrabs	270.000	✓			✓	
1987	Salzburg-Berheim, Àustria	150.000		✓			
1988	Oberpullendorf, Àustria	36.000		✓			
1992	Veneding, Itàlia	62.600	✓				
1993	Bangkok, Thailàndia	300.000	✓	✓			
1993	Lomnice, República Txeca	30.000	✓	✓			
1994	Setubal, Portugal	46.000		✓			
1996	Eurasburg/Quarzbichl, Alemanya	-					✓
1996/7	Ravensburg, Alemanya	1.500					✓
2000	Borken, Alemanya	85.000				✓	
2001	Barcelona, Espanya (Ecoparc1)	300.000			✓		
2002	Valladolid, Espanya	200,000			✓		
2003	Madrid, Espanya	140.000		✓	✓		
2004	Villena, Espanya	75.000		✓			
2004	Linz, Àustria	60.000	✓	✓			
2004	Burgos, Espanya	80.000			✓		
2005	Chemnitz, Alemanya	100.000	✓				

Any	Ubicació	Capacitat total (t/any)	Abast de Subministrament				
			Equips de pretractament	Subministrament d'equips per a plantes "no claus en mà"		Plantes "claus en mà"	
				Túnel de compostatge	Digestió seca o humida	Túnel de compostatge	Digestió seca o humida
2005	Salto del Negro, Espanya	200.000	✓		✓		
2005	Lorient, França	65.000	✓			✓	
2005	Leipzig, Alemanya	300.000	✓			✓	
2005	Fridhaff, Luxemburg	45.000				✓	
2005	Schoneiche (prop Berlín), Alemanya	180.000	✓			✓	
2005	Erfurt, Alemanya	90.000				✓	
2006	Lille, França	200.000				✓	✓

Taula 12. Referències Linde de les instal·lacions de tractament de RM

Número de referències	Tecnologia subministrada					Capacitat total (t/a)(1)
Residus tractats	Piles	Túnel de compostatge	Mòduls de compostatge intensiu	Digestió anaeròbia humida	Digestió anaeròbia seca	
FORM	10	9	6	4	0	3.000 – 85.000
Purí	0	0	0	7	0	5.000– 140.000
Residus agrícoles	0	0	0	2	0	37.500 – 85.000
Residus de jardí	0	0	0	0	3	12.000 – 38.000
RM com TMB	12	5	0	3	1	12.000-150.000
Industrial (assimilable a domèstic)	0	0	0	5	1	23.000– 85.000
Fangs EDAR	0	0	0	1	0	56.000
Residus de cuina	0	0	0	2	1	23.000
TOTAL	15	12	6	22	6	

(1) Les capacitats indicades són les quantitats actuals dels residus orgànics enviats als procés de digestió.

Taula 13. Plantes de tractament de residus amb tecnologies Linde

3.1.5.12. Resum. Conclusions.

- Linde disposa d'un nombre significatiu de referències a diferents països de la UE amb el tractament de FORM i RESTA.
- Àmplia experiència amb les diferents etapes i configuracions dels processos TMB amb digestió (humida o seca) i/o compostatge o estabilització aeròbia.
- Linde pot tant fer subministres de plantes tipus "claus en mà" (incloent els equips de pretractament i separació mecànic) com equips específics del procés.

3.1.6. SCHWARTING ENVIRONMENTAL SYSTEMS.

3.1.6.1. Introducció.

Schwarting GmbH Fiensburg es va crear l'any 1989 quan a la secció de "plantes de biogàs" se li va atorgar un status independent per a l'empresa de fabricació d'equips, Schwarting KG.

Uhde GmbH Dortmund, una de les firmes internacionals més extenses al negoci de la construcció de plantes, amb aproximadament 3.000 empleats, va absorbir el 50% de la participació d'aquesta companyia a l'any 1994. Schwarting-Uhde GmbH té una àmplia experiència al sector d'aigües residuals i tractament de gasos residuals de procés, fangs i incineració de residus.

El seu procés bàsic va ser desenvolupat al principi dels vuitanta per Schwarting KG, amb la col·laboració del Institut Fraunhofer per la investigació i biotecnologia de la capa límit (FhIGB) en Stuttgart, i va ser patentat.

L'empresa Uhde GmbH Dortmunt va deixar la societat, passant a dir-se Schwarting-Umwelt.

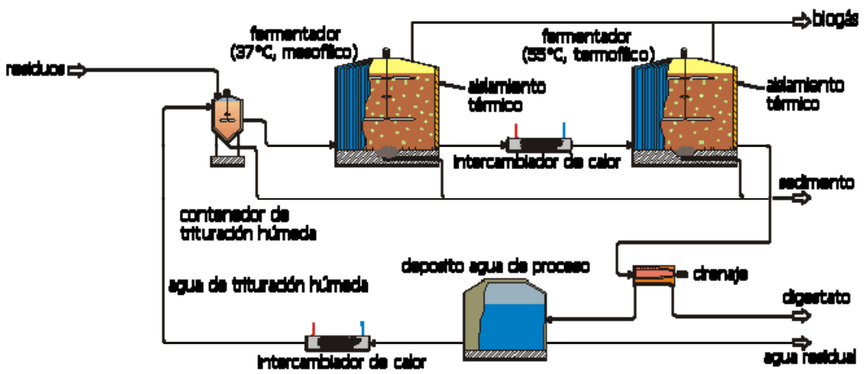
Actualment, Schwarting Environmental Systems (SES) és l'empresa que realitza els serveis de planificació/disseny, enginyeria i construcció de les plantes "claus en mà". SES és una societat filial del grup HERA.

3.1.6.2. Descripció general de la tecnologia.

La tecnologia SES es basa en la digestió humida en dos etapes en condicions mesofíliques o termofíliques.

Degut a l'alt percentatge d'humitat exigit pel digestor, aquest admet diversos tipus de substrat com: FORM, fangs d'EDAR i purins.

En quant al procés de digestió, es caracteritza per utilitzar dos digestors en sèrie, el primer encarregat de la fase d'hidròlisi i el segon a on es produeix la digestió anaeròbia. Aquest segon digestor treballa mitjançant el sistema flux pistó.



Font: SES

Figura 40. Esquema del procés de digestió SES per a plantes de tractament mecànic-biològic

3.1.6.3. Descripció del procés.

Preparació de la fracció orgànica.

Aquesta fase té com objectiu adequar la grandària de partícula del producte a les necessitats del posterior procés de digestió. La grandària final obtinguda per a la FORM ha de ser de 40 mm.

Per evitar discontinuïtats en el flux d'alimentació al digestor, es disposa d'un magatzem pulmó. El temps de retenció d'aquest dipòsit és, habitualment, de dos dies.

La alimentació al magatzem pulmó es realitza mitjançant transportadors de cadena que descarreguen el producte per la seva part superior. Aquest pulmó es construït, normalment, en formigó i té un sensor de nivell per a evitar el sobremplenat.

La descàrrega es realitza mitjançant un mecanisme de sòl mòbil sobre uns transportadors, que a la vegada, dirigeixen el producte al tanc de barreja humida.

Aquests transportadors poden incorporar un sistema de pesatge que permeti conèixer la quantitat de matèria orgànica transportada.

Per a obtenir un producte capaç de ser bombejat i minimitzar problemes per abrasió en canonades, es barreja amb aigua recirculada del procés de deshidratació fins a arribar a un valor del 10% en Matèria Seca a l'entrada del digestor.

La temperatura final de la barreja es regula mitjançant el subsistema de pre-escalfament de l'aigua recirculada.

La barreja és conduïda per bombes de cabdal variable al tanc d'hidròlisi passant per una etapa d'escalfament per la qual s'utilitza com a element calefactor l'agua calenta procedent del circuit de refrigeració de camises del motor de biogàs.

Digestió anaeròbia.

El procés SES es produeix en dos etapes: Hidròlisi i Digestió anaeròbia.

– Hidròlisi:

El tanc d'hidròlisi pot ser metàl·lic o de formigó. En aquest últim cas, s'aconsella protegir-lo amb un aïllant interior de material tipus polietilè. El temps de residència del producte al seu interior és d'unes 12 hores. També incorpora un sensor de nivell per evitar sobrecàrregues.

Per a augmentar el rendiment del procés d'hidròlisi existeix un agitador mecànic al interior del tanc.

El flux de producte fins l'etapa de digestió es controla pel pH. Així s'assegura que la quantitat d'àcids orgànics introduïts en la fase de digestió és l'adequat per a que es mantingui adequadament la població de microorganismes.

El biogàs generat en aquesta fase es recull en la zona superior del tanc d'hidròlisi, el qual està equipat amb un sistema de control de pressió.

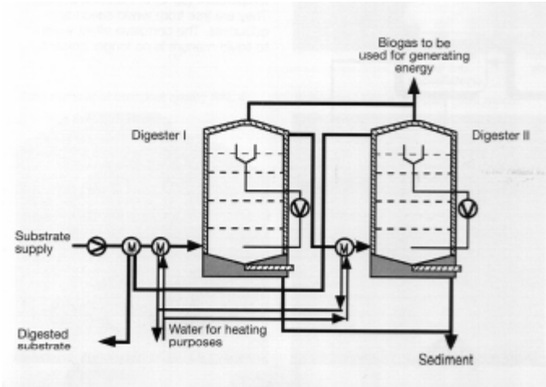
La descàrrega de producte és controlada per les bombes del circuit de descàrrega ja que van equipades amb un variador de freqüència.

– Digestió:

Una vegada descarregat el producte de la seva fase d'hidròlisi, es bombeja fins la fase de digestió.

Abans d'entrar a la fase de digestió, es barreja el producte d'entrada procedent de la fase d'hidròlisi amb un flux de producte recirculat des de la base del propi digestor. Just després del punt de barreja es realitza una medició de pH.

El mecanisme de digestió és del tipus flux pistó. Al interior del digestor existeixen uns interns perforats de secció circular i diàmetre igual al del propi digestor, situats a diversos nivells.



Font: SES

Figura 41. Esquema digestors SES

El flux de producte a dins del digestor és en sentit vertical. Per a afavorir aquesta circulació s'utilitza una bomba hèlix que actua durant intervals determinats de temps i que extrau producte de la part superior del digestor i el reintrodueix a la zona inferior.

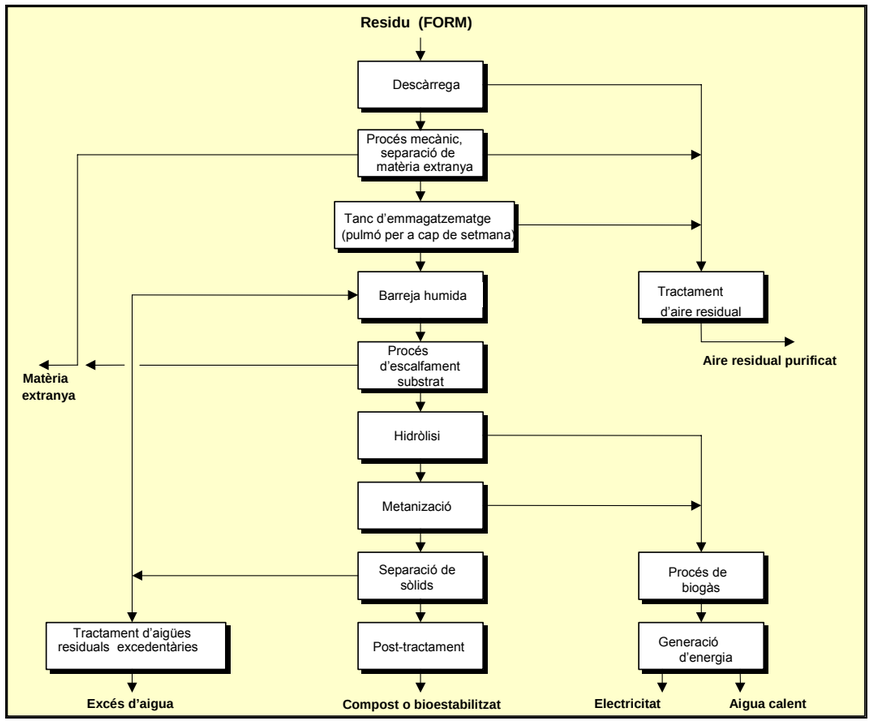
Aquesta circulació crea una diferència de nivells a la superfície lliure del interior del digestor i quan la bomba hèlix deixa d'actuar a aquests nivells tornen a equilibrar-se. Això produeix que el sentit del flux de producte al interior del digestor s'alterni per a cada període d'impuls. Aquests impulsos es programen per a un interval de 30 minuts.

Les partícules de sediments que s'acumulen a la part inferior del digestor, les quals tenen un alt contingut de matèria inorgànica, s'extrauen d'una a diverses vegades al dia mitjançant una vàlvula pneumàtica i es condueixen al tanc de sediments.

El biogàs s'acumula a la zona superior del interior del digestor i es conduït per diferència de pressions al col·lector de recollida de biogàs.

Aquesta fase de digestió anaeròbia aconsegueix una degradació del 55% de la matèria orgànica.

Una vegada digerit el producte és bombejat a l'etapa de deshidratació.



Font: SES

Figura 42. Esquema general del procés SES

<u>Utilització del biogàs.</u>

El biogàs generat en el digestor s'acumula en la seva zona superior fins a arribar a un increment de pressió que li permeti circular fins a la primera fase del tractament. Aquesta consisteix en un condensador d'aigua en la qual es realitza també una separació d'escumes.

El biogàs, sense escumes, circula cap amunt dins del propi condensador i passa per un filtre de grava, el qual forma part del separador d'escuma i garanteix una major separació de partícules arrossegades pel biogàs.
Posteriorment el biogàs es dirigit fins al gasòmetre. Entre el separador d'escumes i el gasòmetre s'instal·la una torxa d'emergència.

El gasòmetre treballa a pressió atmosfèrica. Al seu interior existeix una carcassa metàl·lica, a dins de la qual es troba la cambra flexible de biogàs.

El biogàs que surt del gasòmetre passa per un compressor que l'adequa a les condicions d'utilització del mateix.

En cas de dirigir-se a motors de cogeneració es preveu una etapa d'assecat per a evitar problemes de corrosió per condensació.

En quant a la concentració de H_2S, SES estima una concentració entre 100 i 200 ppm amb el que no preveuen cap filtrat de H_2S.

Deshidratació.

La suspensió de substrat procedent del digestor s'emmagatzema en un tanc previ a la deshidratació. En aquest tanc existeix una mesura de nivell que actua sobre les bombes de circulació del substrat a deshidratació.

El procés de deshidratació consta de dos etapes:

- La primera consisteix en un filtre banda. Per a millorar la qualitat d'aquesta primera etapa s'utilitza polielectrolit. El material més gruix queda a la part superior del filtre i és conduït mitjançant un ejector a la segona etapa del deshidratat.

- La segona etapa de deshidratació es porta a terme mitjançant premsa de cargol. El percentatge de sòlids final oscil·la entre el 35% i el 40%.

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que pot emetre'ns des de varies seccions de la Planta (barrejador, premsa, etc), és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aeròbic. Aquesta unitat es composa d'un biofiltre, amb la finalitat d'eliminar les males olors.

Els paràmetres característics del procés són els següents:

Paràmetres de procés	
Substrat alimentat, % MS	10
Temperatura, °C del digestor	55
Temps de retenció:	
· Hidròlisi, hores	12
· Digestió, dies	8
Biogàs, m^3/t de residu	140
Metà en biogàs, %	65
Sòlid deshidratat, % MS	40
Balanç de matèria per tona de residu orgànic tractat	
Biogàs, m^3	140
Sòlid, kg	586
Aigües residuals, kg	171
Balanç d'energia	
Electricitat excedent, %	27
Necessitats de calor del procés, %	19
Necessitats d'energia del procés, %	11

Taula 14. Paràmetres característics del procés SES

3.1.6.4. *Avantatges i inconvenients.*

Avantatges	Inconvenients
– Procés flexible que permet diversos residus orgànics (fangs d'EDAR, FORM, purí, fems, etc.).	– No disposa de referències amb RESTA. Nombre molt limitat de referències amb FORM. La major part de referències amb digestió de fangs d'EDAR i purins. – No es disposa d'informació de l'estat comercial actual de la tecnologia.

3.1.6.5. *Referències.*

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
1995	Finsterwalde, Alemanya	87.600	FORM, purí de porc i de vaca
1999	Aachen, Alemanya	30.000	FORM

Taula 15. Referències de SES amb FORM (selecció)

3.1.6.6. Resum. Conclusions.

- Procés flexible que permet diversos residus orgànics (fangs d'EDAR, FORM, purí, fems, etc.).
- No disposa de referències amb RESTA. Nombre molt limitat de referències amb FORM. La major part de referències amb digestió de fangs d'EDAR i purins.
- No es disposa d'informació de l'estat comercial actual de la tecnologia.

3.1.7. BTA.

3.1.7.1. Introducció.

BTA Biotechnische Abfallverwertung GmbH & Co és una empresa fundada en Munich en 1984.

A l'any 1983 es va fundar REA Gesellschagt für Recycling von Energic and Abfall GmbH, la filial de BTA. Ambdues van desenvolupar un procés de pretractament humit i digestió anaeròbia humida d'una i dues etapes (procés BTA) per tractar FORM i RM en massa.

BTA, en ocasions, ha subministrat únicament el pretractament humit dels residus mentre que els subministrament dels digestors ha estat realitzat per altres subministradors.

REA és el propietari legal del procés BTA, del que BTA té en exclusiva el dret d'ús i comercialització. BTA té acords amb diferents empreses per la comercialització del procés a diferents països.

3.1.7.2. Descripció general de la tecnologia.

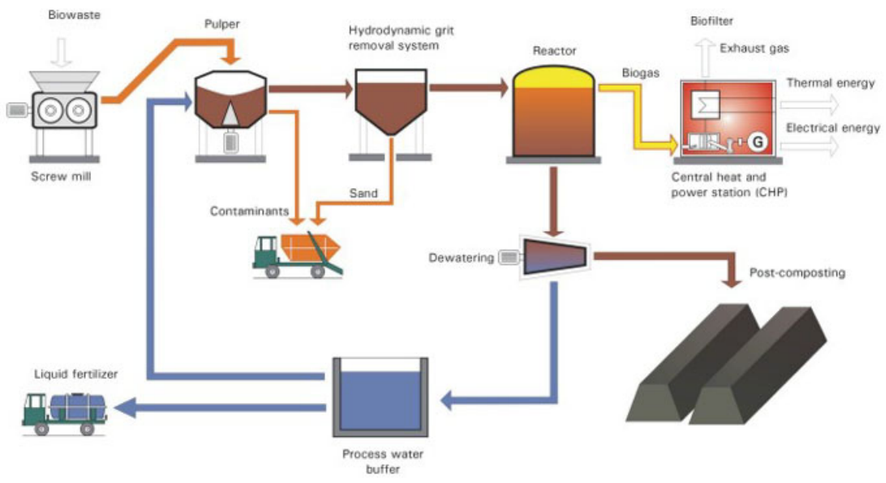
La tecnologia de BTA és basa en un procés de digestió anaeròbia humida, en una o dues etapes, que opera en condicions mesofíliques per tractar diferents tipus de residus orgànics, incloent FORM i RM en massa.

El caràcter específic del procediment BTA radica en la posta en suspensió dels residus en forma d'una suspensió líquida. Aquesta operació permet, per una banda, homogeneïtzar els residus i, per l'altra, extreure tots els elements indesitjables per a l'etapa següent de digestió.

BTA ha operat una planta pilot durant uns deu anys a Garching (Alemanya) per a desenvolupar el procés per a tractar diferents fraccions de RM. La planta es va traslladar a l'any 1996 a Baden-Baden (Alemanya) per a desenvolupar durant dos anys la codigestió de RM amb fangs d'EDAR.

En funció de la capacitat de la planta i el tipus d'aprofitament energètic i ús del compost o bioestabilitzat BTA planteja diferents configuracions del tractament biològic:

Digestió en una etapa a un reactor de barreja complerta. Aquesta configuració permet utilitzar la tecnologia de BTA particularment per a plantes de capacitat relativament petita (inferiors a 50.000 t/any). Aquesta opció permet el reaprofitament dels digestor existents a determinades plantes de tractament de fangs d'EDAR o residus orgànics agrícoles (reduint els costos d'inversió i operació corresponents).



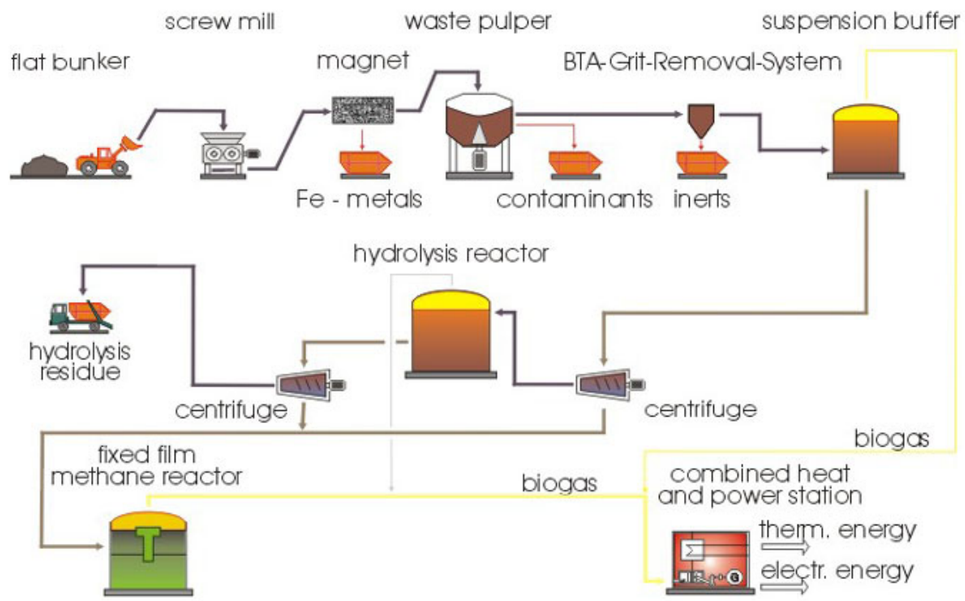
Font: BTA

Figura 43. Esquema general del procés BTA (digestió mono-etapa)

Per plantes amb una capacitat de més de 50.000 t/any, BTA proposa una digestió multi-etapa, separant la suspensió preparada al pulper en una fracció sòlida i una líquida mitjançant una etapa de deshidratació mecànica.

La fracció líquida, que conté la matèria orgànica dissolta, es bombeja directament al reactor de metanització (amb un temps de residència de 2 dies).

La fracció sòlida deshidratada, que encara conté part de la matèria orgànica no dissolta, es barreja amb aigua i s'alimenta a un reactor de hidròlisi. Després de 4 dies, el material es deshidrata un altre cop i la fracció líquida s'envia al reactor de metanització.



Font: BTA

Figura 44. Esquema general del procés BTA (digestió multi-etapa)

Gràcies a la separació de les diferents etapes de fermentació (acidificació, hidròlisi i metanització) es permet un millor control del creixement de les diferentes poblacions de microorganismes. Això permet una cinètica i rendiments de producció de biogàs elevats (amb una degradació de fins a un 60-80% de la matèria orgànica en biogàs).

Com a variant per a plantes de mitjana capacitat, BTA proposa una digestió en dues etapes però sense la separació sòlid/líquid. En aquest cas, la suspensió s'alimenta al reactor de hidròlisi i, posteriorment, al reactor de metanització. Per a permetre unes condicions adequades a l'etapa de hidròlisi, part del material del reactor de metanització es recircula al reactor de hidròlisi.

3.1.7.3. Descripció del procés.

A continuació es presenta la descripció del procés per al tractament de FORM.

Pretractament de la fracció orgànica.

Després d'un pretractament mecànic mínim que consisteix en obrir les bosses que contenen els residus i en evitar la introducció d'elements voluminosos al procés, es posen els residus en suspensió en un pulper.

El pulper consisteix en un equip metàl·lic d'un volum variable segons la grandària de la instal·lació, en la qual s'instal·la una hèlix central.

Els residus penetren per la part superior del pulper i es barregen amb aigua de procés. L'hèlix del pulper es posa, aleshores, en marxa segons les diverses velocitats de rotació, el que genera potents forces de cisallament que provoquen el trencament de les cèl·lules vegetals. D'aquesta manera, la posta en suspensió dels residus no esmicola els elements indesitjables, tals com plàstics, piles o tèxtils que es podrien trobar entre els residus.

La suspensió líquida obtinguda, el contingut de matèria seca del qual és de 8 a 10%, s'evacua a través d'un tamís per a alimentar al digestor.

S'aboca després una nova càrrega d'aigua al pulper per a permetre la flotació de tots els elements lleugers (plàstics i tèxtils en particular...) que s'extrauen mitjançant un raspall hidràulic abans de ser compactats per una premsa de cargol. Els residus minerals i pesats tals com: vidre, pedres, ossos, etc, decanten al fons del pulper, i s'evacuen per una portella.

El pas de la suspensió líquida per un hidrocicló abans de la digestió permet extreure les partícules sorrenques fines i evitar d'aquesta forma els fenòmens d'abrasió en les bombes i la resta d'equips giratoris de la instal·lació.

Digestió anaeròbia.

Després d'eliminades les impureses de la suspensió líquida de residus, aquesta s'alimenta de manera continua al digestor.

La grandària de la partícula d'entrada al digestor varia entre el 8 i els 10 mm.

El digestor és de tipus “barreja complerta”, construït en acer al carboni i de construcció vertical.

En aquest digestor, la matèria orgànica es convertida en biogàs per cultius mesofílics (37ºC). El sistema d’agitació al interior del digestor es produeix injectant part del biogàs produït.

En el cas de la digestió mono-etapa, després d’un temps de retenció hidràulic de 14 a 16 dies, s’extrau el material ja digerit i s’envia a una centrífuga, a on es separa la fase líquida de la fase sòlida. La producció de biogàs és d’uns 80-90 m^3 per tona de FORM (amb un contingut del 60-65% CH_4).

En el cas de la digestió en dues etapes, els temps de retenció és de 2-4 dies per la hidròlisi i uns 3 dies per la metanització. La producció de biogàs és d’uns 110-130 m^3 per tona de FORM (amb un contingut del 65-75% CH_4).

Utilització del biogàs.

El biogàs es valoritza en motors de biogàs produint electricitat i calor. La electricitat produïda cobreix la totalitat de les necessitats de la instal·lació; l’excedent, és a dir, 50 a 60% dels kWh elèctrics produïts, es poden vendre en la xarxa de distribució d’electricitat.

El calor del circuit de refrigeració dels motors s’utilitza per permetre mantenir la temperatura òptima del digestor en 35-37 ºC.

Deshidratació.

Part de l’efluent líquid (fins el 80%) es recircula com aigua de procés al pulper. L’excés, molt carregat en matèries en suspensió i en nitrogen amoniacal, es tracta en una depuradora integrada en la instal·lació segons un procés de fangs activats amb tractament del nitrogen per nitrificació-desnitrificació.

Les característiques típiques de l’efluent a tractar són les següents:

- Matèria en suspensió .....1500-3000 mg/ll
- DQO.....2000-5000 mg/ll
- N amoniacal ..... 500-1000 mg/l
- Fòsfor..... < 100 mg/l
- pH .....7 a 8
- Temperatura ..... 35–37 °C

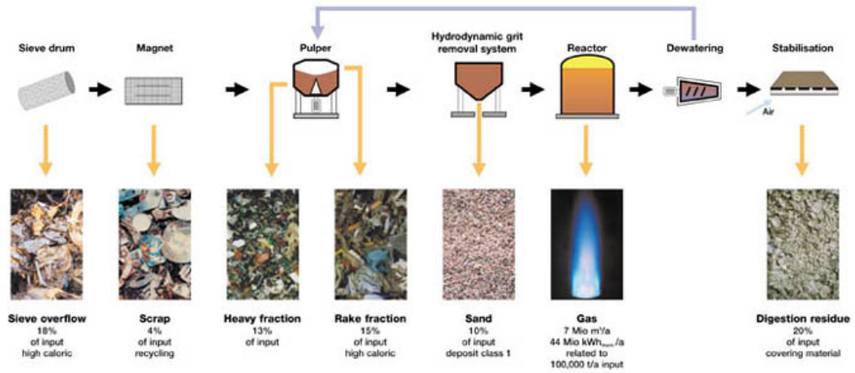
El volum que s’ha de tractar és de l’ordre de 12 a 25 m^3/dia en el cas de les unitats de 10.000 a 20.000 tones de FORM per any.

El residu sòlid conté de 30 a 35% de matèria seca a la sortida de la centrífuga.

Unitat de tractament de l’aire.

L’aire viciat que es pot emetre des de diverses seccions de la Planta (barrejador, premsa, etc), és directament extret i enviat a la unitat de tractament d’aire, juntament amb l’aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aeròbic. Aquesta unitat es composa d’un biofiltre, amb la finalitat d’eliminar les males olors.

En el cas del tractament de RESTA, BTA proposa un esquema de procés com el de la planta de Villacidro (Cerdenya, Itàlia)[17].



Font: BTA

Figura 45. Esquema i balanç de masses del procés BTA. Planta de Villacidro (Itàlia).

A la planta de Villacidro (Itàlia), la fracció de RM es separa en un trommel de 150 mm. Els metalls fèrrics i altres materials reciclables es recuperen de la fracció de més de 150 mm mitjançant una combinació de separadors magnètics i classificació manual. La fracció restant s’envia a dipòsit controlat.

[17] Planta dissenyada per tractar 45.000 t/any de RM en massa (aprox. 74%) i fangs d’EDAR (aprox. 26%). Aquesta planta és la única planta en operació per tractar RM on BTA ha subministrat el procés complert.

A la fracció de menys de 150 mm també es recuperen els metalls fèrrics abans de enviar-se a l'hidropulper (operant en *batch*). El procés en batch té una duració de 60 a 75 minuts per a completar-ne. La fracció més pesada (metalls, vidre, inerts, piles, etc.) juntament amb la fracció de flotants (plàstics, tèxtils, fusta, etc.) s'extreu i normalment s'estabilitza fora de la planta abans d'enviar-se a dipòsit controlat.

La suspensió (a un 8-10% MS) es bombeja a un sistema d'hidrociclons, i posteriorment a la digestió anaeròbia, a traves d'unes malles situades a la part inferior del pulper per eliminar les partícules de més de 10 mm.

3.1.7.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per tractar RM. – Procés netament excedentari d'energia. – Diferents configuracions del procés per a maximitzar la producció de biogàs. – BTA ha subministrat tant el procés complert de digestió com el pretractament humit per a altres tecnòlegs de digestió	– Procés complex de pretractament dels residus. – El procés pot tenir una generació d'aigües residuals importants a tractar en la mateixa planta. – No es disposa d'informació de les dades d'operació a les seves plantes de referència amb RM (p.e. Villacidro).

3.1.7.5. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.

Balanç de matèria per 1 tona de FORM (digestió mono-etapa)	
Inerts (pedres, sorra, plàstics)	10 %
Compost	25 – 30 %
Biogàs	10 – 11 %
Aigua en excés	40 – 45 %

Balanç d'energia per 1 tona de FORM (digestió mono-etapa)	
Producció electricitat	180 – 260 kWh
Autoconsum elèctric	80 – 120 kWh
Producció calor	280 – 400 kWh
Autoconsum calor	50 – 80 kWh

A l'apartat *Descripció del procés*, es presenta el balanç de masses de la planta de BTA a Villacidro (Cerdenya, Itàlia).

3.1.7.6. Costos.

Únicament es disposa d'informació dels costos del procés de pretractament humit subministrats per BTA que varien entre uns 2,5 i 4 M€.

La inversió per la planta de tractament de FORM de Ypres (Bèlgica) és d'uns 20 M€ (no es disposa de detall dels conceptes inclosos).

3.1.7.7. Referències.

BTA té referències a Europa, Nord Amèrica i Japó. En moltes ocasions, BTA actua com a subcontratista per a subministrar serveis d'enginyeria i consultoria i subministra determinades parts de la planta (pretractament humit o procés complert de digestió) mentre que els llicenciataris subministren la planta complerta.

En la taula següent es presenten les referències de BTA per al tractament de RM en massa i FORM.

Any	Ubicació	Capacitat planta (t/any)	Tipus de residu	Abast de subministrament
1991	Elsinore, Dinamarca	20.000	FORM	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i va assistir a la posada en marxa
1992	Kaufbeuren, Alemanya	2.500	FORM	Subministra el pretractament humit
1993	Baden-Baden, Alemanya	5.000	FORM	Subministra el pretractament humit
1995	Dietrichsdorf, Alemanya	17.000	FORM i residus comercials	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i va assistir a la posada en marxa

Any	Ubicació	Capacitat planta (t/any)	Tipus de residu	Abast de subministrament
1996	Karlsruhe, Alemanya	8.000	FORM	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i va assistir a la posada en marxa
1996	Schwabach, Alemanya	12.000	FORM	Subministra el pretractament humit
1997	Wels, Àustria	15.000	FORM	Subministra el pretractament humit
1997	Erkheim, Alemanya	11.500	FORM i residus comercials	Procés BTA. BTA va subministrar el pretractament, deshidratació i control, però no els digestors ni motors de cogeneració.
1997	Kirchstokach, Alemanya	20.000	FORM	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i va assistir a la posada en marxa
1997	Münster, Alemanya	20.000	FORM	Subministra el pretractament humit
1998	Wadern-Lockweiler, Alemanya	20.000	FORM i residus comercials	Procés BTA. BTA va subministrar diferents components de la planta i va assistir a la posada en marxa
2000	Newmarket, Canadà	150.000	FORM, residus comercials i fangs orgànics	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria i va assistir a la posada en marxa
2001	Kushima, Japó	1.000	Residus comercials	Subministra el pretractament humit
2001	Pulawy, Polònia	22.000	RM en massa	Subministra el pretractament humit
2001	Mertingen, Alemanya	11.000 1.000	Residus agrícoles FORM	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i va supervisar a la fase de construcció
2002	Toronto, Canada	25.000	FORM	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i va assistir a la posada en marxa
2002	Villacidro (Sardinia), Itàlia	30.000 + 15.000	Mescla RM i fangs EDAR	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i va assistir a la posada en marxa
2002	Verona, Itàlia	70.000	RM en massa	Subministra el pretractament humit
2003	Ypres, Bèlgica	50.000	FORM	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria i diferents components de la planta
2003	Mülheim, Alemanya	22.000	FORM i residus comercials	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria i diferents components de la planta
2003	Ko-Sung, Alemanya	3.000	FORM	Procés BTA. BTA va subministrar serveis d'enginyeria.
2003	Sydney, Austràlia	35.000	Residus comercials i residus orgànics	Subministra el pretractament humit
2003	Nara, Japó	1.500	Residus cuina	Subministra el pretractament humit
2005	Herrieden, Alemanya	3.000 10.000	FORM Residus comercials	Subministra el pretractament humit.
2005 (en construcció)	Alghoba, Líbia	11.000	RM en massa	Procés BTA. BTA subministrarà serveis d'enginyeria i diferents components de la planta
2006 (en construcció)	Pamplona, Espanya	100.000	RM cribat	Procés BTA. BTA subministrarà serveis d'enginyeria i diferents components de la planta
2006 (en construcció)	Komoro, Japó	70.000	Residus cuina	Procés BTA. BTA subministrarà serveis d'enginyeria, diferents components de la planta i assistència a la posada en marxa.

Taula 16. Referències BTA

Resum. Conclusions.

- Àmplia experiència i referències en digestió humida de residus, particularment, de FORM.

- BTA ha subministrat diferents components de la seva tecnologia (pretractament humit o digestió anaeròbia complerta) a plantes TMB. Només disposa d'una planta TMB en operació amb el seu procés complert.

- BTA té diferents llicenciataris amb la seva tecnologia arreu del món. El procés BTA s'utilitza, al menys a sis països a diferents escales.

3.1.8. WABIO.

3.1.8.1. Introducció.

El procés Wabio va ser originalment desenvolupat per la companyia finlandesa DN Bioprocessing Oy (DNB).

A l'any 1989, la companyia finlandesa OutoKumpu Ecoenergy Oy va adquirir la Tecnologia Wabio a DNB.

En 1994, aquesta companyia va vendre Ecoenergy Oy a Eco Technology JVV Oy.

Sembla que en aquests moments pertany a l'empresa constructora finlandesa SKANSKA Econet Oy, però no es disposa d'informació contrastada de la situació comercial de la tecnologia.

3.1.8.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés Wabio és un procés de digestió anaeròbic de tipus humit i opera a un grau de temperatura mesofílica (entorn als 35ºC).

El procés Wabio es va desenvolupar per al tractament de residus orgànics procedents dels residus municipals i fangs generats en plantes de tractament d'aigües residuals.

3.1.8.3. Descripció del procés.

El procés Wabio de digestió consta de les següents unitats de procés:

1. Preparació de la fracció orgànica del residu.
2. Digestió anaeròbica.
3. Deshidratació de sòlid digerit.
4. Utilització del biogàs.
5. Tractament d'olors.

Preparació de la fracció orgànica.

Els residus es descarreguen a la zona de recepció, des d'on el residu es transporta a la primera etapa de trituració. Abans d'entrar al procés Wabio (pulper de preparació d'alimentació), els residus es trituren a una grandària inferior a 50 mm per a, posteriorment, eliminar els inerts.

Els metalls magnètics es separen del residu abans d'entrar posteriorment en un trommel, a on la matèria orgànica i la fracció inorgànica es separen.

La fracció orgànica es transporta a la planta de digestió anaeròbia.

Les impureses sòlides en la fracció orgànica, tals com vidre, ceràmica, plàstic cel·lular i suro, es separen abans del procés anaeròbic. El procés de separació de Wabio no presenta una elevada eficiència (Wabio no disposa de desenvolupament propi en equips de separació d'impureses).

En cas d'alimentar fangs d'EDAR, aquests hauran de ser deshidratats mecànicament fins a un contingut mínim de 15% de matèria seca. El substrat alimentat es prepara en recipients tancats per a aconseguir:

- L'ajustament de la temperatura del substrat alimentat per a adaptar-se a la temperatura de digestió anaeròbica.

- La homogeneïtzació i control del contingut dels sòlids totals del substrat alimentat.

- La separació de partícules inerts.

El substrat alimentat preparat en el pulper és una barreja d'aigua calenta, residu sòlid orgànic i/o fangs d'EDAR deshidratats.

Digestió anaeròbia.

Al procés Wabio, el digestor és de construcció vertical i opera en condicions mesofíliques (35ºC) encara que també poden adaptar-se a treballar en condicions termofíliques (55ºC).

Els digestors són d'acer o de formigó armat o combinacions d'ambdós materials.

La càrrega orgànica dels digestors mesofílics varia al procés Wabio de 3 a 7 kg de sòlids volàtils (SV) per m^3 de reactor per dia depenent de la composició del residu material a tractar.

El temps de retenció de la massa al digestor és de 18 a 25 dies depenent del residu orgànic a tractar.

L'agitació del digestor s'efectua mitjançant reinjecció de biogàs al seu interior.

La pressió al interior del digestor és inferior a 50 mbar.

El substrat alimentat és escalfat a la temperatura de procés abans d'alimentar al digestor. Al procés Wabio es realitza un escalfament de la massa alimentada simplement barrejant el residu sòlid i el fang d'EDAR (si aquest existeix) amb aigua calenta. L'aigua calenta és preparada a partir del líquid provinent de la unitat de deshidratació. El sistema inclou un tanc d'aigua, intercanviadors de calor, bombes i canonades.

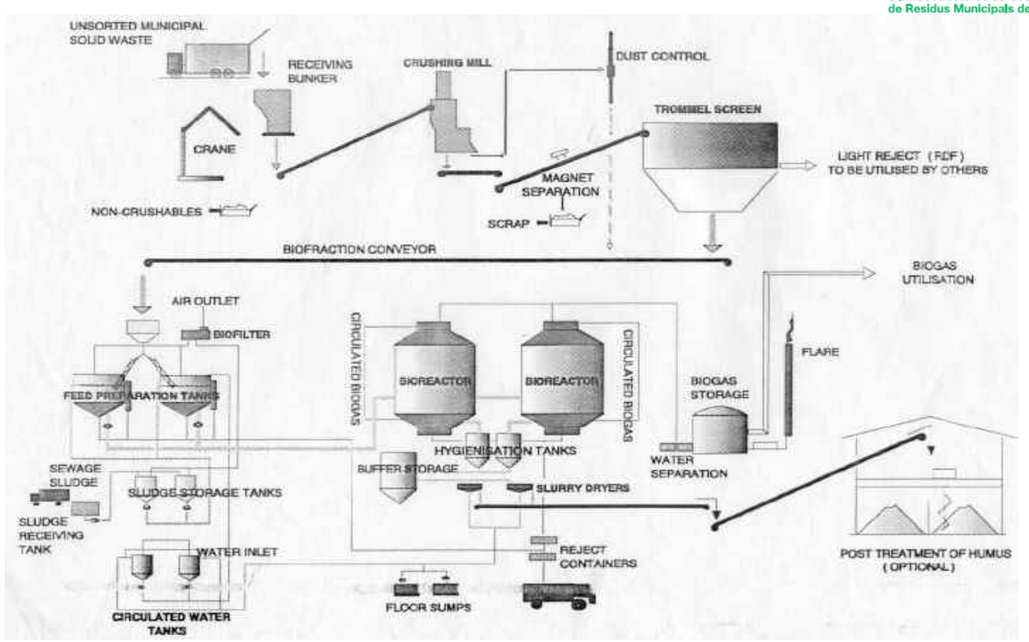


Figura 46. Esquema general del procés Wabio

Deshidratació.

El contingut de matèria seca (MS) del sòlid digerit varia entre el 6 i el 11% MS depenent del substrat alimentat.

Depenent de l'equip de deshidratació seleccionat el contingut de matèria seca del sòlid digerit es troba entre el 30 i el 45%. L'aigua alliberada en la deshidratació retorna parcialment al procés.

L'equip de deshidratació pot ser tant una centrífuga com una premsa cargol. El procés de deshidratació requereix un consum de polielectrolit de 3 a 5 kg per tona de sòlids digerits (recuperació de sòlids del 95%).

El sòlid deshidratat presenta la següent composició:

- pH 7–8
- Humitat ..... 60–70 %
- Matèria orgànica sobre matèria seca ..... < 40 %
- C/N rati ..... 10 a 15

- N- total ..... 14 a 23 g/kg MS
- P- total ..... 3 a 6 g/kg MS
- Potassi ..... 6 a 12 g/kg MS

Utilització del biogàs.

El biogàs produït normalment és de 400 a 600 m^3 per tona de sòlids volàtils depenent del contingut de matèria biodegradable. El biogàs conté del 55 al 70% metà. La resta és majoritàriament diòxid de carboni. El valor calorífic del biogàs és de 4.500-5.700 kcal/m^3.

El rendiment de biogàs és de 60-80 m^3 per tona de fang tractada i d'aproximadament 150 m^3 per tona de la fracció orgànica de l'entrada al digestor.

La pressió de sortida del biogàs és inferior a 50 mbar.

El biogàs provinent del reactor passa per un dispositiu de separació d'aigua, i és apropiat per a la seva utilització com a combustible en les calderes i motors de gas.

Normalment, la planta Wabio inclou també un gasòmetre per a assegurar la utilització contínua del biogàs.

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que es pot emetre des de diverses seccions de la Planta (barrejador, premsa, etc) és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aeròbic. Aquesta unitat es composa d'un biofiltre, amb la finalitat d'eliminar les males olors.

Els paràmetres característics del procés Wabio per FORM i llots d'EDAR són els següents:

Paràmetres de procés	FORM	Llot
Substrat alimentat, MS-%	15 ± 2	13 ± 4
Temperatura, ºC:		
· Bioreactor	35 ± 2	35 ± 2
· Aigua de procés	40 – 70	50 – 70
· Tanc d'higienització	70	70
Grau de càrrega, kgSV/m^3 reactor · dia	6 ± 1	4 ± 1
Temps de retenció en el bioreactor, dies	20 ± 2	23 ± 2
Biogàs, m^3/t de residu	150 ± 100	70 ± 30
Sòlid digerit, MS-%	10 ± 1,5	8 ± 1,5
Sòlid deshidratat, MS-%	40 ± 5	35 ± 5

Taula 17. Paràmetres característics del procés Wabio

3.1.8.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Manca d'experiència amb digestió de RM. – Procés netament excedentari d'energia.	– Disposa d'un nombre limitat de referències amb FORM. Plantes de petita i mitjana capacitat. – No es disposa d'informació d'operació a les seves plantes de referència ni de la situació comercial actual de la tecnologia.

3.1.8.5. Rendiments del procés. Balanç de masses i energia.

Balanç de matèria per tona	FORM	Llot
Biogàs, kg	145	60
Sòlid, kg	430 (MS 45%)	400 (MS 30%)
Aigües residuals, kg	425	540
Balanç d'energia per tona	**FORM**	**Llot**
Energia biogàs consumible, kWh	1.960	1.730
Calor produït en un dispositiu de gas, kWh	960	850
Procés de calor, % de la quantitat produïda	30	50
Potencia produïda en un dispositiu de gas, kWh	700	620
Procés de potencia, % de la quantitat produïda	13	13

Taula 18. Balanç de masses i energia. Procés Wabio

3.1.8.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
1991	Mustasaari, Finlàndia	17.000	FORM, fangs d'EDAR
1995	Bottrop, Alemanya	6.500	FORM
1999	Shilou, Xina	17.000	FORM
2000	Forssa, Finlàndia	17.900	FORM

Taula 19. Referències Wabio

3.1.8.7. Resum. Conclusions.

- Disposa d'un nombre limitat de referències amb FORM de petita i mitjana capacitat. Manca d'experiència amb digestió de RM.

- No es disposa d'informació d'operació a les seves plantes de referència ni de la situació comercial actual de la tecnologia.

3.1.9. WAASA.

3.1.9.1. Introducció.

L'evolució del procés Waasa va començar en 1989, a prop de la ciutat de Vaasa (Finlàndia), quant es va iniciar la construcció d'una planta de tractament de residus municipals a escala industrial. L'explotació d'aquesta planta, que era una de les primeres existents al món d'aquestes característiques, va ser encomanada a l'empresa A.S.J. (Avfallsservice Stormossen Jätehuolto).

El procés Waasa va ser desenvolupat per l'empresa Citec, paral·lelament als canvis introduïts a la primera línea de digestió de ASJ. Una millora important va ser la ampliació de la planta amb una segona línea de digestió.

Tots els RM són tractats mitjançant el procés Waasa en una segona línea de tractament, així doncs la primera línea és utilitzada per a la digestió dels fangs de depuradora.

Citec és el propietari i disposa dels drets industrials del procés (l'empresa Alcyon Engineering va adquirir els drets per a alguns països, incloent Espanya).

L'empresa Grontmij[18] va desenvolupar un procés de digestió anaeròbia per a tractar RM (anomenat procés Vagron) basat en el procés Waasa de Citec. Aquest procés Vagron va desenvolupar-se amb una etapa de classificació, separació i pretractament de la fracció orgànica abans d'enviar-se a l'etapa de digestió anaeròbia.

3.1.9.2. Descripció general de la tecnologia.

La tecnologia de digestió de Waasa és del tipus humit (10-15% MS) humida, en una o dues etapes, que opera en condicions mesofíliques o termofíliques.

En cas d'operar en un planta a on es rebin RM en massa és necessària una primera fase de tractament previ. El sistema utilitzat en aquesta fase depèn del tipus de residus que es rep, així com de la manera en que aquests es tracten en origen.

Fonamentalment es basa en la separació de la fracció combustible (CDR), orgànica i inert, així com de la adequació de la grandària de partícula de la fracció orgànica prèvia a l'etapa de digestió.

La preparació de la fracció orgànica es realitza mitjançant el *Mixseparator*[19] i la digestió mitjançant el *Twin Reactor*[20].

3.1.9.3. Descripció del procés.

El concepte de procés es pot resumir en les següents fases:

Preparació de la fracció orgànica (Mixseparator).

El Mixseparator té com a objectiu:

- Barreja del flux entrant i homogeneïtzació del material.

- Separació i extracció dels inerts.

18 S'ha sol·licitat informació del procés Vagron a l'empresa Grontmij Water and Waste Management però no s'ha obtingut cap resposta.
19 Mixseparator, equip a on es realitza la barreja del flux entrant, la separació de metalls per a la seva reutilització i la separació d'inerts per a la seva eliminació en abocadors, així com el filtrat d'aire i gas del procés Waasa.
20 Twin Reactor, reactor a on es produeix el procés de digestió anaeròbia; l'obtenció del biogàs, la deshidratació i obtenció de l'aigua i posteriorment el compost del procés Waasa.

En aquest equip es realitza un rentat dels residus orgànics eliminant la fracció no orgànica. Una vegada barrejat el producte amb aigua es produeix una separació d'inerts per decantació i de materials lleugers per flotació.

El control del percentatge de sòlids es realitza mitjançant la regulació en l'addició d'aigua. Aquest percentatge s'estableix en funció de la natura dels residus.

El valor oscil·la entre el 10% i el 15% MS.

Per a controlar en tot moment la quantitat de matèria orgànica introduïda a la fase de digestió posterior es realitza un pesatge de la mateixa.

Digestió anaeròbia (Twin Reactor).

Un tanc pulmó situat abans del digestor permet absorbir variacions del flux d'alimentació a planta i assegurar el treball en continu del digestor.

El Twin Reactor es troba al rang de les tecnologies de digestió humida. Aquest equip pot treballar tant en condicions mesofíliques com termofíliques.

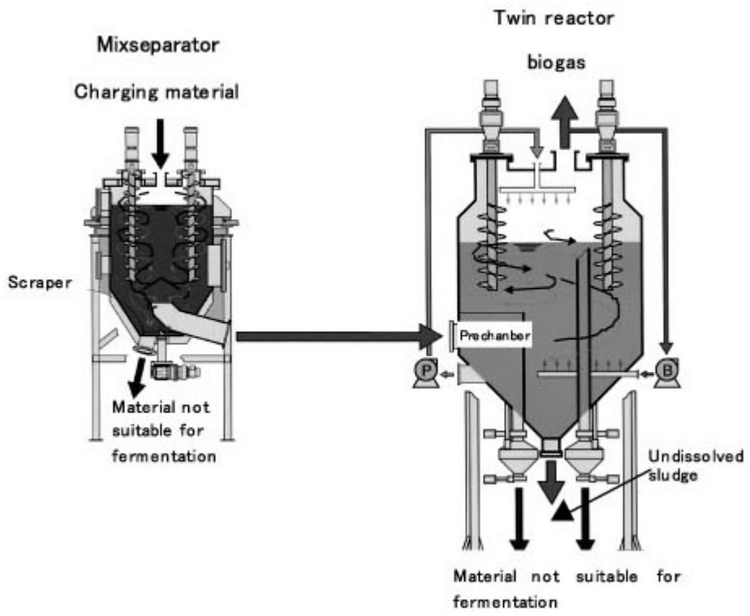


Figura 47. Procés Waasa: Mixseparator® i Twin reactor®

El substrat procedent del tanc pulmó entre en primer lloc a la pre-cambra del reactor.

El temps de retenció a l'etapa de digestió varia entre uns 10 dies (termofílic) a 20 dies (mesofílic).

En aquesta fase es produeix la activació gradual del substrat mitjançant un sistema d'injecció de bactèries. Aquest consisteix en ruixar la massa orgànica fresca amb elements procedents de les zones més actives del reactor, evitant d'aquesta manera qualsevol curt circuit amb els problemes que això ocasiona en la qualitat del producte obtingut (compost).

Els materials inerts residuals es decanten a la part inferior d'aquesta pre-cambra, a on es purguen i s'envien a un contenidor.

En la part superior del reactor trobem la zona de turbulència a on es produeix la major part de la degradació i, en conseqüència, del biogàs. Per això, es combina una injecció del propi biogàs generat i una agitació mecànica.

Es disposen també de barrejadors especialment dissenyats per a millorar l'eficiència de la barreja, optimitzant, per tant, la producció de biogàs i mantenint la superfície en moviment continu, això a la vegada evita la formació de crostissos.

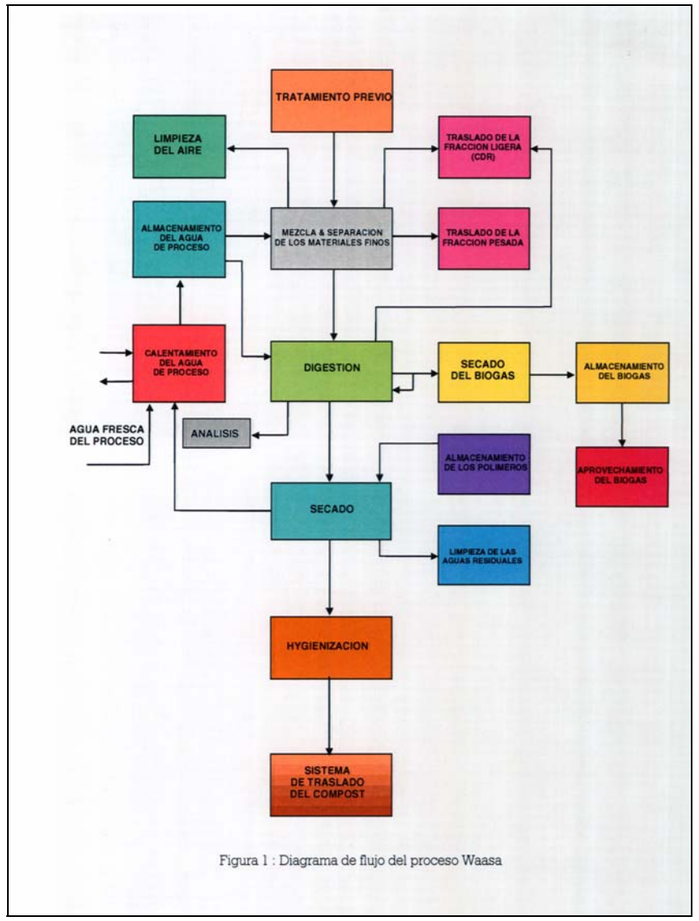
A la zona inferior del reactor trobem la zona de sedimentació, a on es decanta la matèria orgànica digerida. Després de la seva extracció, s'envia per bombeig a l'etapa de deshidratació a on el digerit arriba a una concentració del 35% de matèria seca.

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que es pot emetre des de diverses seccions de la planta (barrejador, premsa, etc), és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aeròbic. Aquesta unitat es composa d'un biofiltre, amb la finalitat d'eliminar les males olors.

Tractament de l'aigua excedentària.

Si la normativa local el requereix, l'excés d'aigua és sotmès a un tractament addicional per a complir amb els estàndards específics d'abocament.



Font: Waasa

Figura 48. Esquema general del procés Waasa

3.1.9.4. *Avantatges i inconvenients.*

Avantatges	Inconvenients
– Disposa d'un nombre significatiu de referències amb FORM i RM. – Procés netament excedentari d'energia. – Diferents configuracions del procés per a maximitzar la producció de biogàs.	– Procés complex de pretractament dels residus. – No es disposa d'informació de la operació a les seves plantes de referència ni de la situació comercial actual de la tecnologia. – No s'ha pogut clarificar la propietat intel·lectual i llicències del procés a les plantes de Groningen i Heerenveen (procés Vagron de l'empresa Grontmij).

3.1.9.5. *Rendiments del procés. Balanços de massa i energia.*

De manera simplificada es pot establir que per 1.000 kg de fracció orgànica s'obtindrien després del procés Waasa: 530 kg de digestat, 120 m^3 de biogàs, que poden implicar 700 kWh. Un excedent de biogàs, després del consum intern, de 70-80%.

El restant seria aigua residual.

3.1.9.6. *Resultats obtinguts a la Planta de Vaasa (Finlàndia).*

Dades generals:

- Temps d'operació: 8 hores/dia, 5 dies/setmana i 250 dies/any.
- Potència elèctrica instal·lada: 650 kW (inclòs tractament previ).
- Autoconsum elèctric metanització: 3% de l'energia del biogàs produït.

Entrades:

- Reactor 1: 28.000 t/any de: 20.000 t/any de RM
  8.000 t/any de FORM
- Reactor 2: 11.000 t/any de fangs d'EDAR
- Temps de Retenció al digestor: 12 dies

Sortides:

- Matèries inerts (rebuig): 40 kg/t residu tractat
- Producció de biogàs: 2.000.000 m^3/any = 120-140 m^3/t digerida

Això suposa:

- Electricitat: 2.600 MWh/any
- Calor: 5.100 MWh/any

La composició del biogàs a la sortida del digestor (sense tractament) és:

- CH_4 .....63 %
- CO_2 .....36 %
- N_2 .....< 0,5 %
- H_2S ..... 5 – 12 ppm
- Cl^- ..... < 0,5 ppm
- F^- ..... < 0,5 ppm
- NH_3 ..... < 0,05 ppm

3.1.9.7. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
1988	Vaasa, Finlàndia	30.000	RM i residus comercials
1994	Vaasa, Finlàndia	15.000	RM
1997	Ashigara, Japó	500	FORM i fangs
1998	Kils, Suècia	3.000	FORM
1999	Groningen, Països baixos (1)	85.000 (de pretractament)	RM
2001	Joetsu, Japó	12.000	FORM i fangs
2001	Ikoma, Japó	3.000	FORM i fangs
2001	Shimoina, Japó	5.000	FORM i fangs
2002	Heerenveen, Països baixos (1)	90.000 (de pretractament)	RM
2003	Jönköping, Suècia	15.000	FORM
2003	Pinerolo, Itàlia	30.000 (de pretractament i tractament fangs)	RM i fangs

(1) Tot i que aquestes referències figuren a la llista de referències de l'empresa Citec amb el procés Waasa, senyalar que posteriorment l'empresa Grontmij va realitzar modificacions a aquestes anomenant el seu procés com Vagron.

Taula 20. Referències del procés Waasa

3.1.9.8. Resum. Conclusions.

- Disposa d'un nombre significatiu de referències amb FORM i RM de petita (500 t/any) a gran capacitat (fins 90.000 t/any).

- Procés complex de pretractament dels residus.

- No es disposa d'informació de la operació a les seves plantes de referència ni de la situació comercial de la tecnologia. No s'ha pogut clarificar la propietat intel·lectual i llicències del procés a les plantes de Groningen i Heerenveen (procés Vagron de l'empresa Grontmij).

3.1.10. ROS ROCA.

3.1.10.1. Introducció.

La multinacional lleidatana Ros Roca, constituïda en 1953, centra la seva activitat en la fabricació de bens d'equip i en el disseny i desenvolupament de sistemes i processos d'enginyeria aplicats al medi ambient.

Ros Roca exporta a 70 països i compta amb 1.100 col·laboradors que treballen en unes instal·lacions de 140.000 m^2, situades a 3 països de la U.E.

La fabricació de bens d'equip cobreixen el cicle complert de recollida i tractament de residus: recol·lectors compactadors sobre camions; maquinària per a neteja viària i equips per a la neteja de clavegueram. Ros Roca també ha desenvolupat en els últims anys, des dels seus propis departaments de I+D+I, sistemes per al tractament de diferents tipus de residus.

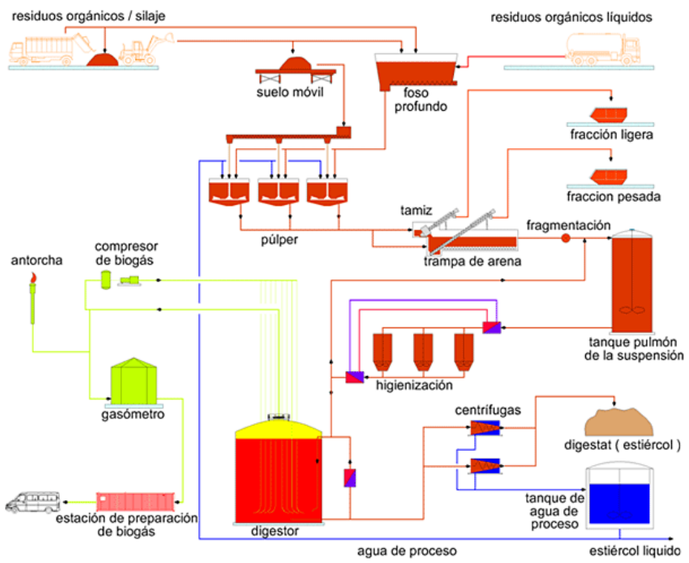
Ros Roca, S.A. i Ros Roca Internacional, S.L. (quines oficines estan situades a Esslingen, Alemanya) – pertanyents al grup Ros Roca – varen començar les seves activitats en el sector de les tecnologies del tractament de digestió (via humida) amb el procés BioStab

(originalment amb llicència de l'empresa alemanya Envital)[21] i compostatge en tambors i túnels per al tractament de residus orgànics.

Aquestes tecnologies han estat implantades (separadament) a diferents plantes de tractament, no havent-ne subministrat encara una planta "claus en mà".

3.1.10.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés BioStab és un procés de digestió anaeròbia humida que pot operar en condicions mesofíliques o termofíliques. El caràcter específic del procediment BioStab radica en la posta en suspensió dels residus en forma d'una suspensió líquida per homogeneïtzar els residus i extreure els elements contaminats indesitjables per a l'etapa de digestió.



Font: Ros Roca

Figura 49. Esquema del procés Ros Roca. Planta de metanització Växtkraft, Västerås (Suècia).

Per altra part, Ros Roca disposa de tecnologia de compostatge en tambors i túnels.

A continuació es presenta una descripció dels diferents processos de Ros Roca.

3.1.10.3. Descripció del procés (metanització amb procés BioStab)

[21] El sector de negocis de gestió de residus d'Envital fou adquirit per Ros Roca l'any 2001.

El procés consta de cinc etapes principals:

1. Pretractament de la fracció orgànica consistent en el acondicionament dels residus en forma d'una suspensió líquida i higienització dels residus.
2. Digestió anaeròbia de la suspensió en un digestor.
3. Deshidratació.
4. Tractament d'olors.
5. Tractament d'aigua excedentària.

Pretractament de la fracció orgànica: preparació humida.

Segons la qualitat dels residus s'utilitzen diversos tipus de tremuges per a la recepció dels residus.

Els residus orgànics humits es recepcionen a una tremuja profunda tancada. La tremuja es descarrega automàticament amb uns sens-fí i una bomba. També es poden utilitzar tremuges planes o profundes amb grua.

El primer pas del procés és la preparació humida. Els residus orgànics sòlids es sotmeten a un pretractament que consisteix, bàsicament, en l'eliminació dels metalls mitjançant un separador magnètic, garbellat i trituració amb la finalitat de condicionar els residus per la seva introducció el pulper.

Al garbell es separa el material amb una grandària superior a 150 mm, que és considerat material estructural o simplement contaminant. Finalment es torna a garbellar fins a 60-80 mm o s'utilitzen molins per a l'acondicionament de la matèria orgànica.

Els residus posteriorment s'introdueixen directament al pulper. Es tracta d'un tanc metàl·lic, d'acer al carboni, d'un volum variable segons la grandària de la instal·lació, en la qual s'ha instal·lat una hèlix central.

Els residus penetren per la part superior del pulper i es barregen amb aigua de procés. L'hèlix del pulper genera potents forces de trencament que provoquen l'esclat de les cèl·lules vegetals. D'aquesta forma, la posta en suspensió dels residus no esmicola els elements indesitjables tals com plàstics, piles o tèxtils que es podrien trobar entre els residus.

Al pulper, el residu es barreja amb aigua de procés a 90ºC-95ºC fins a aconseguir un contingut fins al 15 % en matèria seca (MS) i roman al seu interior de l'ordre de 30-45 minuts.

Després del pulper s'extrauen els elements contaminants lleugers mitjançant un raspall hidràulic (20 <∅< 80 mm) i els elements pesats (∅ <20 mm), tals com vidre, pedres, etc. mitjançant un extractor de sorres.

L'objectiu és que la grandària mitjana abans dels higienitzadors sigui de 10 mm.

La suspensió líquida obtinguda ja pot ser bombejada fins als tancs d'higienització.

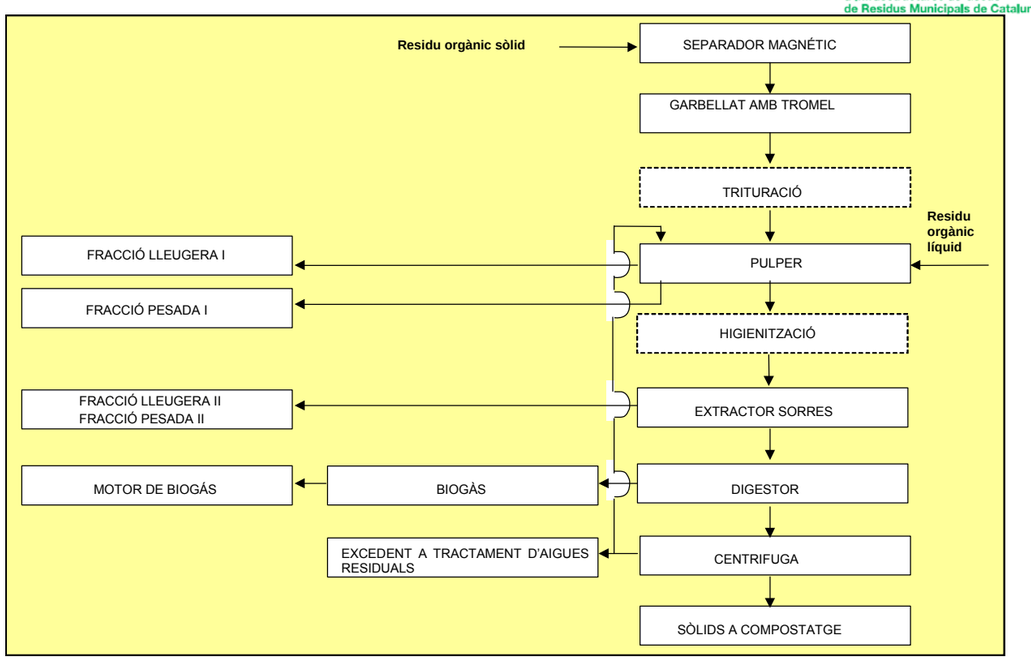
La suspensió líquida obtinguda es sotmet a una higienització amb la finalitat d'eliminar patògens. El temps i temperatura d'higienització es fixen segons la normativa vigent.

Als higienitzadors, d'acer al carboni, el residu romandrà una hora a 70 ºC (normativa alemanya). El procés de higienització treballa en "batch" en recipients amb barrejadors.

Així, es garanteix i controla contínuament el temps de marxa en inèrcia i temperatura de la higienització. En general, s'utilitza el calor residual dels motors de biogàs per al procés d'higienització.

Posteriorment, la suspensió es fa passar a través d'un extractor de sorres que elimina lleugers entre 20 i 80 mm i pesats < 20 mm.

El procés d'higienització té sentit sempre i quan es preveu aplicar directament el sòlid digerit com a compost fresc. Si això no és així, a l'higienització s'arriba d'una manera més senzilla a través d'una maduració posterior del digerit.



Font: Ros Roca

Figura 50. Esquema general de procés metanització Ros Roca

Digestió anaeròbia.

Un cop eliminades les impureses de la suspensió líquida de residus, aquesta s'alimenta de manera continua al digestor.

El digestor, tipus "barreja complerta", es pot fabricar d'acer al carboni en formigó i és de construcció vertical.

En aquest digestor, la matèria orgànica és convertida en biogàs per cultius mesofílics (35-37 ºC) o termofílics (55 ºC), així doncs, abans del digestor es situa un intercanviador de calor que baixa la temperatura de 80 a 37°C ó 55ºC. El sistema d'agitació a l'interior del digestor es realitza injectant part del biogàs produït.

Aproximadament, el 50% del material orgànic alimentat al digestor es transforma en biogàs. Es produeixen de l'ordre de 100-120 m^3 de biogàs per tona d'entrada al digestor amb un contingut de metà del 70%.

El temps de retenció hidràulic mitjà és de 2-3 setmanes.

Font: Ros Roca

Figura 51. Digestors Ros Roca (2 x 3.800 m³) de la planta de metanització a Àvila (Espanya). Capacitat 36.000 t/a

Els paràmetres característics del procés de digestió són els següents:

Paràmetres del procés	
Substrat alimentat, % MS	4 – 8
Temperatura del digestor, ºC	35 – 37
Càrrega, kg SV/m^3 reactor · dia	4 – 8
Temps de retenció al digestor, dies	14 – 21
Metà en biogàs, %	70
Sòlid deshidratat, % MS	30 – 35

Taula 21. Paràmetres característics del procés de digestió Ros Roca

Deshidratació.

El material s'extrau per la zona superior del digestor ja digerit i s'envia a una centrífuga, a on es separa la fase líquida de la fase sòlida. L'aigua de procés després de la centrifugació conté menys del 0,5% MS.

Per a millorar l'eficàcia de la separació s'afegeixen de 3 a 4 kg de polielectrolit per tona de matèria seca.

El residu sòlid conté del 30-35% de matèria seca a sortida de la centrífuga.

Part de l'efluent líquid es recircula com aigua de procés al pulper. L'excés carregat en matèries en suspensió i nitrogen amoniacal, es tracta a una depuradora.

Efluents líquids.

L'aigua depurada obtinguda al tractament de la fracció liquida de la centrífuga s'utilitza com aigua de procés en tot el sistema.

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que es pot emetre des de diverses seccions de la Planta (barrejador, premsa, etc), és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aeròbic. Aquesta unitat es composa d'un biofiltre, amb la finalitat d'eliminar les males olors.

Tractament de l'aigua excedentària.

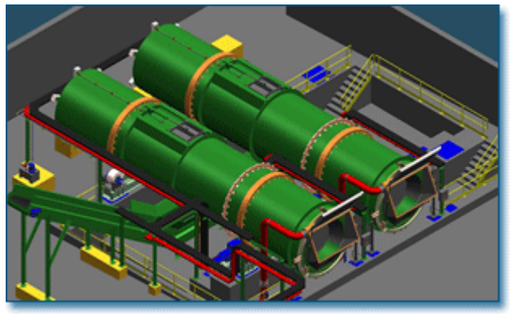
L'excés d'aigua es tracta a una instal·lació de tractament d'aigües residuals (p.e. tipus BMR) per a complir amb els estàndards específics d'abocament.

3.1.10.4. Descripció del procés (compostatge en tambors).

Com, s'ha comentat anteriorment, Ros Roca també subministra sistemes de compostatge en tambors i túnels.

En el cas del compostatge en tambors, el primer procés intensiu de compostatge té lloc a un tambor tancat, amb ventilació forçada, i regulació de temperatura. El procés és un sistema dinàmic que té la possibilitat de moure de forma controlada el tambor a una velocitat màxima d'una rotació per minut.

En comparació amb sistemes estàtics, es pot garantir una ventilació eficaç dels residus orgànics i una distribució constant del calor. No es mesura la temperatura a l'aire si no directament als residus orgànics. Es controla de forma continua la temperatura mitjançant la ventilació. El tambor és un sistema tancat propulsat per depressió per on s'aspira l'aire amb olors mitjançant un ventilador i es tracta l'aire a un biofiltre.

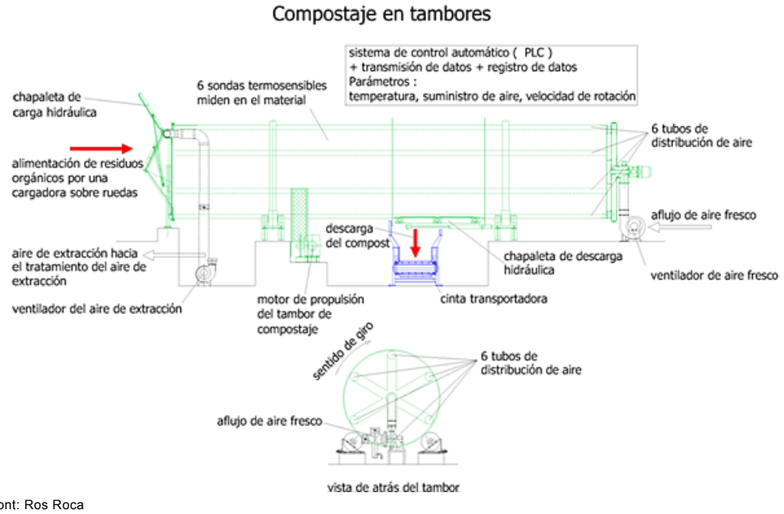


Font: Ros Roca

Figura 52. Model 3D d'una planta de compostatge amb tambors Ros Roca amb dues unitats (Calvià, Espanya)

L'alimentació amb residus orgànics mitjançant tapa hidràulica pot realitzar-se automàticament o amb pala carregadora sobre rodes. En general, els residus resten uns 5-7 dies al tambor. Després de 5 dies es compleixen les prescripcions higièniques de la BGK[22].

Després del procés de compostatge als tambors, es descarrega automàticament el compost fresc mitjançant una tapa i se'l transporta mitjançant una cinta transportadora a l'etapa de post-tractament per a eliminar impureses. El post-tractament es realitza mitjançant un separador magnètic, tamisat i separador per aire després del compostatge intensiu. La maduració final es realitza en piles.



Font: Ros Roca

Figura 53. Construcció tècnica i elements principals del tambor Ros Roca

3.1.10.5. Descripció del procés (compostatge en túnels).

Els túnels de Ros Roca són de formigó i disposen d'un sòl de ventilació desenvolupat per Ros Roca. La alimentació als túnels es realitza amb pala carregadora o de forma automàtica amb cintes transportadores.

Cada túnel disposa d'un ventilador que impulsa l'aire al sòl de ventilació. La alimentació i descàrrega dels túnels es realitza per mitjà de les portes hermètiques que eviten la sortida de l'aire contaminat durant el procés de compostatge.

En general, es fermenta el material orgànic durant dues setmanes als túnels. Finalment el material experimenta el post-compostatge definitiu en piles. Als túnels es controlen els paràmetres del procés com la temperatura, contingut d'oxigen i diòxid de carboni. L'aire de sortida del procés de compostatge es tracta a un rentador i biofiltre.
Els túnels de compostatge de Ros Roca s'han implantat per al tractament tant de FORM com de digestat amb una grandària estàndard per túnel de 625 m^3.

3.1.10.6. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Ros Roca disposa de referències en plantes tant amb digestió com compostatge per al tractament de RM. – Procés netament excedentari d'energia (BioStab). – Una sòlida capacitat financera permet al grup treballar com a contractista general per a projectes de claus en mà en grans concursos.	– Encara no ha subministrat cap planta de tractament mecànic-biològic "claus en mà" per tractar RM.

3.1.10.7. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.

Balanç de massa per tona FORM (digestió anaeròbia)	
Fracció lleugera (impureses), kg	100
Fracció pesada (impureses), kg	40
Biogàs, kg	100 – 120
Sòlids, kg	450
Aigua excedent, kg	343

[22] Organització Alemanya d'Assegurament de la Qualitat del Compost

Addició aigua (polímer centrifugació), kg	133
Balanç d'energia per tona FORM (digestió anaeròbia)	
Producció Biogàs, kWh	500
Electricitat generada, kWh	170
Electricitat autoconsum, kWh	70
Calor produït, kWh	2.233
Calor autoconsum, kWh	60

3.1.10.8. Referències.

A continuació es presentes les referències de Ros Roca a plantes amb digestió i/o compostatge en túnels de RM i FORM (selecció).

Any posta en servei	Ubicació	Capacitat a digestió (t/any)	Tipus de residu	Abast del subministrament
1992	Kaufbeuren, Alemanya	4.000	Residus orgànics	Digestió humida(1)
1996	Schwabach Alemanya	25.000	Residus orgànics	Digestió humida(1)
1997	Münster, Alemanya	16.500	Residus orgànics	Digestió humida(1)
1999	Dietrichsdorf, Alemanya	10.500	Residus orgànics	Digestió humida(1)
1999	Boden, Alemanya	43.000	Residus orgànics /residus industrials orgànics	Digestió humida(1)
2001	Madrid, Espanya	30.000	Residus verds/fangs EDAR	Túnels de compostatge
2001	Càceres, Espanya	43.400	Residus orgànics /residus verds/fangs EDAR	Túnels de compostatge
2003	Àvila, Espanya	36.500	RM	Digestió humida
2003	Palma de Mallorca, Espanya	32.500	Residus orgànics/llots de depuradora/residus orgànics industrials/ residus municipals	Digestió humida
2004	Lanzarote, Espanya	36.500	RM i fangs EDAR	Digestió humida
2004	Ecoparc 2, Barcelona, Espanya	60.000	RM/ Residus orgànics (digestat)	Túnels de compostatge /digestat
2005	Västeras, Suècia	23.000	Residus orgànics, residus orgànics industrials, matèria primera regenerativa	Digestió humida
2005	Gescher, Alemanya	17.500	Residus orgànics/fangs EDAR	Digestió humida
2005	Deisslingen, Alemanya	24.500	FORM	Sanejament d'una planta de metanització existent tractant residus orgànics amb pretractament, higienització i deshidratació
2005	Volkenschwand, Alemanya	75.000	Residus orgànics/residus orgànics industrials	Ampliació d'una planta de metanització existent tractant residus orgànics amb el procés d'higienització i els equips d'un nou digestor
2006 (en posta en marxa)	Ecoparc 3, Barcelona, Espanya	90.000	RM	Digestió humida
En construcció	Jaen, Espanya	20.000	RM	Digestió humida (TMB)
En construcció	Tudela, Espanya	28.000	RM	Digestió humida (TMB)
En construcció	Gran Canaria, Espanya	60.000	RM	Digestió humida
En construcció	Viena, Àustria	17.000	Residus orgànics, aliments embalats	Digestió humida
En construcció	Krosno, Polònia	10.000	RM	Planta de pretractament
En construcció	Alacant, Espanya	52.000	RM	Digestió humida

(1) Construïda per Envital amb procés Biostab (Envital a l'any 2001 va ser adquirida per Ros Roca)

Taula 22. Referències de Ros Roca a plantes amb digestió i/o compostatge en túnels de RM i residus orgànics (FORM) –selecció-.

3.1.10.9. Resum. Conclusions.

- Disposa de referències tant en plantes amb digestió com compostatge per al tractament de RM i FORM. Tot i que el funcionament del procés de digestió (BioStab) amb FORM

ha estat provat des de fa anys, el funcionament amb RESTA és més recent. El funcionament continuat de les noves plantes tractant RESTA a escala industrial haurà d'avalar els rendiments i resultats del procés.

- Ros Roca ha tingut els últims anys un nombre significatiu de nous contractes per plantes de digestió, principalment a Espanya i Alemanya, el que s'entén com una confiança del mercat en la tecnologia.

- Una sòlida capacitat financera permet al grup treballar com a contractista general per a projectes de claus en mà en grans concursos. És una de les empreses més actives al mercat espanyol havent experimentat un fort creixement als últims anys.

3.1.11. HAASE.

3.1.11.1. Introducció.

Haase és un grup format per tres companyies: Haase Energietechnik AG, Haase Anlagenbau AG, i Haase Energietechnik Beteiligungsgesellschaft GmbH, de les quals la última d'elles únicament és responsable de tasques administratives.

A l'any 1981, Haase Energietechnik es va establir a Neumünster (Alemanya), com una empresa privada. Al mes de maig del 2002, es va transformar en empresa pública.

La principal àrea d'activitat de Haase és el camp dels abocadors, tant en la captació i tractament de lixiviats i biogàs.

Dins de les seves activitats, Haase subministra plantes de digestió anaeròbia per al tractament de residus orgànics.

Tanmateix, Haase ha subministrat el següent equipament per altres empreses del sector per plantes TMB:

- Digestors anaerobis humits (2 etapes).
- Torxes.
- Assecadors de biogàs.
- Compressors de biogàs.
- Motors de biogàs.
- Oxidació Tèrmica Regenerativa (OTR) amb el seu sistema patentat, conegut com "VocsiBox".

3.1.11.2. Descripció general de la tecnologia.

La tecnologia Haase està basada en la digestió humida, amb un contingut en matèria seca del 15%, en dues etapes en condicions mesofíliques o termofíliques. El digestor admet diversos tipus de substrats com: FORM, RM, fangs d'EDAR, purins, etc..

En quant al procés de digestió, es caracteritza per utilitzar dos reactors, anomenats "bioestabilitzadors", en sèrie; el primer encarregat de la fase d'hidròlisi i el segon a on es produeix la metanogènesi. Aquest segon digestor treballa mitjançant el sistema barreja complerta.

3.1.11.3. Descripció del procés.

A la pàgina següent es presenta l'esquema general del procés Haase.

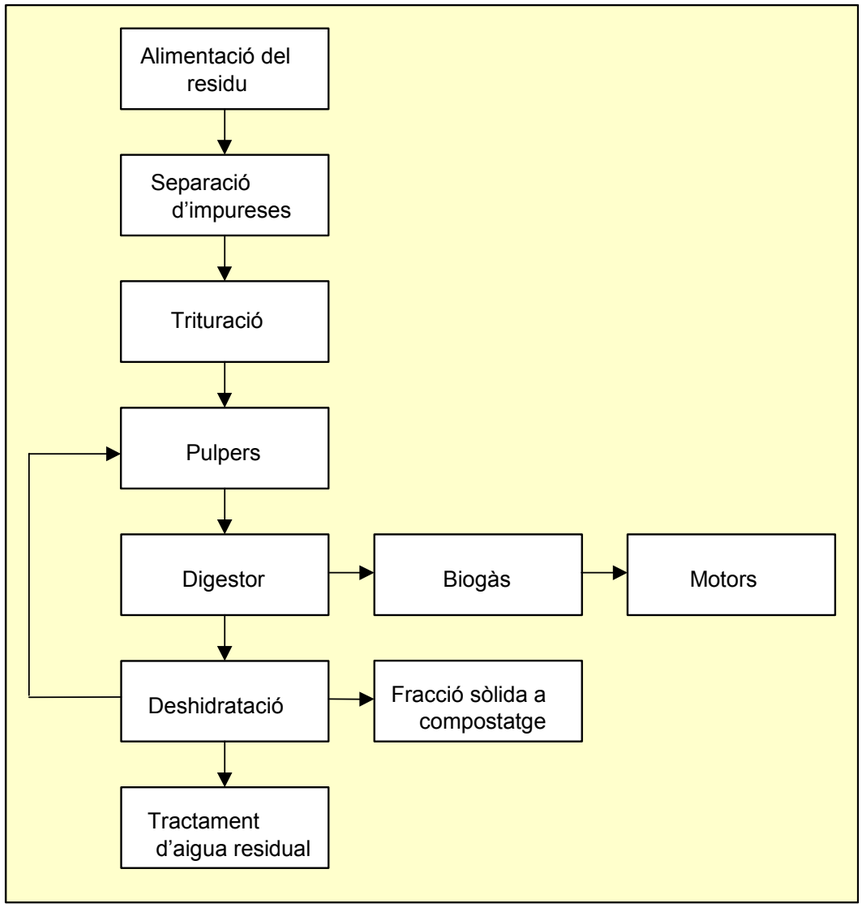


Figura 54. Esquema general del procés Haase.

Les diferents etapes del procés són les següents:

<u>Preparació de la fracció orgànica.</u>

Depenent del residu a tractar, el pretractament (tant sec com humit) té que adaptar-se al contingut dels contaminants o elements indesitjables.

Per a tractar la FORM, aquesta ha de ser prèviament garbellada per a extreure els inerts gruixuts per a la digestió (metalls, plàstics, etc.). El procés treballa amb una granulometria inferior a 70 mm.

A la primera planta de referència de Haase tractant RM en massa a Lleó (Espanya), el pretractament del residu consisteix en una separació amb trommel, separadors magnètics i classificació manual per a la recuperació de materials.

Una vegada garbellada, i separada, la matèria orgànica es transporta fins a un pulper on se l'afegeix aigua de procés de la mateixa planta de digestió. Es produeix així una suspensió de matèria orgànica en aigua amb un contingut de matèria seca d'aprox. 10 fins a 15%. Aquesta suspensió està ja en condicions de ser bombejada i barrejada i pot ser manipulada fàcilment durant el procés de metanització.

Els barrejadors operen en paral·lel per càrregues. Els barrejadors disposen de fulles rotatives. Mitjançant la rotació de les fulles, la fracció metanitzable que conté la matèria orgànica es tritura, suspèn, mentre que els components que no són biodegradables (plàstics, teixits, metalls, vidre, etc), es mantenen majoritàriament intactes.

Després d'acabar el procediment de barreja, la suspensió flueix per gravetat fins a un separador d'inerts. Al separador d'inerts, la barreja primer passa per una reixa de separació.

D'aquesta manera s'elimina la fracció lleugera, consistent en material flotant, en suspensió i material gruixut (fusta, plàstic, metall) > 20 mm, de la barreja. La fracció lleugera es deshidrata, compacta i descarrega a un contenidor.

Una vegada separat els inerts lleugers, la suspensió entra a un decantador per a separar la fracció inert pesada (sorra, vidre, metalls). Aquest decantador ha de ser netejat periòdicament.

La separació d'aquests inerts protegeix la instal·lació (bombes, dipòsits, deshidratació, etc.), contra l'abrasió i sedimentació als dipòsits.

Resumint, amb el pretractament, es persegueixen essencialment els següents objectius:

- La trituració i desfibració de las substàncies biològiques descomponibles.
- La separació hidràulica d'inerts.
- La preparació d'una barreja amb fracció orgànica que es pot barrejar i bombejar amb un contingut de matèria seca d'entre 10 i 15 % en pes.

El temps de permanència en un barrejador incloent els temps d'emplenat i el buidat és

d'aproximadament una hora.

La preparació de la barreja fins un contingut del 15% (elevat per una digestió humida) en matèria seca té avantatges i inconvenients.

Com a avantatge es pot citar que el contingut en matèria orgànica per m^3 de digestor és major que a la majoria de sistemes humits que treballen normalment amb un contingut del 8-10% en matèria seca o inclús inferior. Per tant, el volum necessari del digestor es redueix.

No obstant això, en el cas de tractar materials amb alt contingut en contaminants (com RESTA o RM en massa), la separació en humit dels contaminants pot ser més complexa.

Digestió anaeròbia.

– Hidròlisi:

La barreja, una vegada separats els inerts, es bombeja fins l'etapa d'hidròlisi.

A l'etapa d'hidròlisi es realitza una pre-acidificació i una homogeneïtzació del flux de barreja fins als digestors. Les entrades en punta (alta i baixa), així com fluctuacions de concentració es compensen en aquesta fase. A més, es transforma l'entrada del material, que sol ser discontinu, en un flux continu (7 dies de la setmana, 24 hores).

L'objectiu de les instal·lacions amb dos etapes és obtenir, al menys en teoria, la màxima producció de biogàs. Per aquesta raó, Haase instal·la un pre-reactor (dipòsit d'hidròlisi) davant del digestor. Al dipòsit d'hidròlisi s'inicia l'etapa de la fermentació.

El temps de permanència a l'etapa de hidròlisi pot ser de fins a 5 dies.

Per a una millor homogeneïtzació, el dipòsit d'hidròlisi està equipat amb un barrejador-agitador submergible.

En les reaccions bioquímiques que es desenvolupen de forma continua als reactors, es produeix sulfur d'hidrogen (H_2S) a partir de la reducció de sulfats segons les següents reaccions:

$$SO_4^{2-} + 4H_2 \longrightarrow H_2S + 2H_20 + 2OH^-$$
$$SO_4^{2-} + CH_3COOH \longrightarrow H_2S + 2HCO_3^-$$

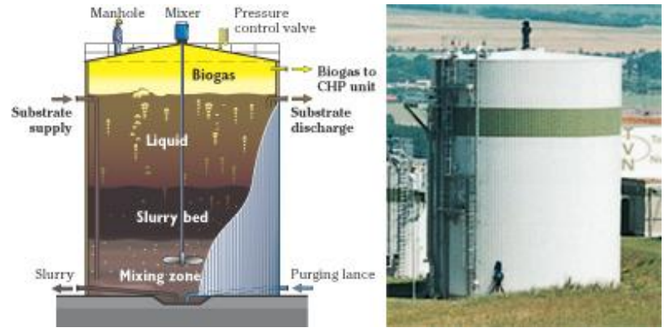
Per a separar el sulfur d'hidrogen del metà produït s'afegeix clorur de ferro. D'aquesta forma, el sulfur d'hidrogen es converteix en sulfit i queda en forma estable al digestat.

$$H_2S + FeCl_2 \longrightarrow FeS + 2\ HCl$$

– Digestió (metanogènesi):

Haase utilitza un digestor de barreja complerta. Un barrejador-agitador que està col·locat seguint l'eix vertical al sostre del recipient assegura una barreja continua del reactor.

D'aquesta forma s'eviten sedimentacions als reactors, es garanteix una alimentació homogènia de nutrients a les bactèries i es compensen els gradients al pH i la temperatura.



Font: Haase

Figura 55. Digestor HAASE

El temps de permanència de la suspensió al digestor és de fins a 15 dies. En aquest temps es pot descomposar entre un 50% i 95% de la matèria seca de la fracció orgànica.

El substrat s'escalfa a una temperatura de 38 ºC (primer reactor-hidròlisi) o 55 ºC (segon reactor-metanització) mitjançant intercanviadors dobles de calor a l'entrada dels reactors. Per a escalfar s'utilitza l'aigua de refrigeració dels motors de biogàs. L'entrada de la suspensió als reactors és controlada i registrada.

La suspensió surt dels reactors per gravetat i entra en un dipòsit d'emmagatzematge. Per a evitar sedimentacions, el dipòsit està equipat amb un agitador. Al dipòsit d'emmagatzematge, la suspensió fa una post-fermentació i desgasificació. Per això, el dipòsit d'emmagatzematge està connectat als reactors amb canonada de gas.

Tot el biogàs produït als reactors passa al dipòsit d'emmagatzematge, acumulant-se a la

part superior i des d'allà passa al gasòmetre.

Al dipòsit d'emmagatzematge es controla el nivell de la suspensió digerida i es bombeja aquesta a l'etapa de deshidratació.

Utilització del biogàs.

A la canonada de sortida dels reactors, el biogàs té una pressió de 5 mbar com a màxim.

El contingut d'humitat al gas es condensa per refredament. Aquesta condensació es separa al pou de condensació i aquesta aigua s'incorpora al procés de metanització.

Habitualment el biogàs s'aprofita per a produir electricitat en motors de biogàs.

La energia tèrmica del sistema de refrigeració dels motors de biogàs s'aprofita per a escalfar els reactors mitjançant intercanviadors de calor.

Quan els motors de biogàs estan fora de funcionament i la pressió interior del gasòmetre ha arribat al seu valor màxim, actua un sensor de pressió i desvia el biogàs a la torxa d'alta temperatura. La torxa s'encén automàticament. Al mateix temps, el dipòsit de gas es desconnecta de manera automàtica del sistema de gas amb una vàlvula.

Deshidratació del digestat.

Haase realitza la deshidratació del digestat de la metanització mitjançant premses de cargol. Per condicionar el digestat per a la deshidratació s'utilitzen agents floculants. El grau de separació, relacionat amb les ranures utilitzades a les premses de cargol, és d'aproximadament un 90%.

El residu digerit presenta un grau de maduresa (Rottegrad) de 2 a 4 segons els casos.

La fracció líquida de la premsa cargol conté aprox. un 3% de matèria seca s'envia a la instal·lació de tractament d'aigües residuals.

Unitat de tractament de l'excés d'aigua.

El tractament del excedent de les aigües residuals del procés es realitza amb sistemes de membrana.

Haase combina membranes de ultrafiltració i osmosi inversa. Haase disposa d'unitats modulars en contenidors amb els equips.

Com a resultat del procés s'obté un permeat (aprox. 75% del cabal d'entrada) que depenen del disseny de la planta pot abocar-se a llera pública o a xarxa de sanejament i un rebuig (aprox. 25% del cabal d'entrada) que s'ha de gestionar com residu final.

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que es pot emetre des de diverses seccions de la planta (barrejador, premsa, etc), és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aerobi.

El tractament dels aires es realitza amb biofiltres o amb oxidació tèrmica regenerativa segons els casos.

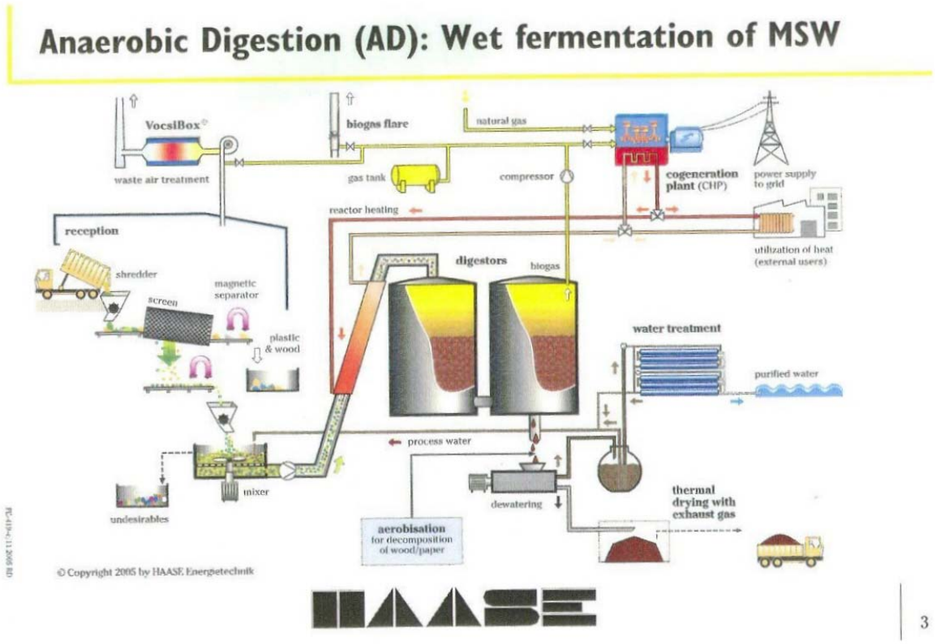
A Alemanya i on es requereixin nivells de desodorització i COV's molt exigents, Haase habitualment implementa un sistema propi d'oxidació tèrmica regenerativa, conegut con VocsiBox®.

Aquest sistema treballa a temperatures al voltant de 1.000 ºC. L'eficiència de recuperació energètica es situa entre un 94% i fins a més del 97%.

Font: Haase

Figura 56. Sistema VocsiBox® de Haase per al tractament de l'aire de procés. Planta de Münster (Alemanya)

A continuació es presenta el esquema general del procés de Haase implantat a la planta de Luebeck (Alemanya).



Font: Haase

Figura 57. Esquema de procés Haase. Planta de Luebeck (Alemanya)

Els paràmetres característics del procés Haase són els següents:

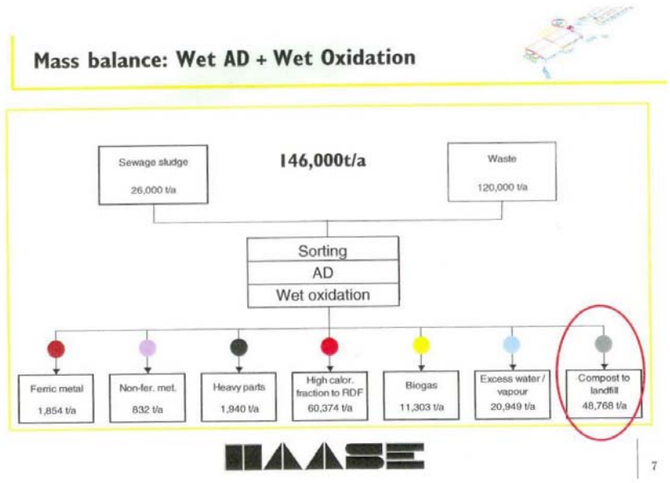
Paràmetres del procés Haase	
Temps de retenció hidràulic	10 a 21 dies
Càrrega orgànica	7,7 kg/m^3 reactor·dia
Degradació de Sòlids Volàtils	40 – 60 %
Producció de biogàs	70 – 75 Nm^3/t entrada
Producció de biogàs	2 – 3 Nm^3/m^3 reactor·dia
Concentració CH_4	55-65 %

3.1.11.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Experiència amb digestió de FORM. – Ha subministrat diferent equipament per altres empreses del sector per plantes TMB (digestors, torxes, secadors, compressors i motors de biogàs, sistemes de membrana i oxidacions tèrmiques regeneratives).	– Experiència relativament recent amb digestió de RM. – Encara no ha subministrat una instal·lació integrada complerta de TMB.

3.1.11.5. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.

A la figura següent es presenta el balanç de masses a una de les plantes de referència de Haase (Lubeck, Alemanya).



Font: Haase

Figura 58. Balanç de masses. Planta de Luebeck (Alemanya). Capacitat: 120.000 t/a de RM i 26.000 t/a de fangs EDAR

3.1.11.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat de la planta (t/a)	Tipus de residu tractat	Abast de subministrament			
				Digestors anaerobis	Motors biogàs	Tractament de gasos	Tractament d'aigües
1995/ 1996	Groeden, Alemanya	110.000	Purí i FORM	✓	✓	✓	
1998	Nentzelsrode, Alemanya	17.000	FORM i RESTA	✓	✓		✓
1998	Schwanebeck, Alemanya	49.000	FORM	✓	✓		
2002	Münster, Alemanya	83.000	RESTA i RM			✓	
2005	Lleó, Espanya	200.000	RM	✓	✓		✓
2005	Luebeck, Alemanya	150.000	RESTA i RM	✓	✓	✓	✓
2005	Lauchhammer, Alemanya	50.000	RESTA i RM	✓	✓	✓	

Taula 23. Referències de Haase a plantes de digestió

3.1.11.7. Resum. Conclusions.

- Haase disposa d'una amplia experiència en el subministrament de diferent equipament per altres empreses del sector per plantes TMB (digestors, torxes, secadors, compressors i motors de biogàs, sistemes de membrana i oxidació tèrmica regenerativa).

- Experiència en digestió de FORM. L'experiència de Haase amb plantes TMB per la digestió de RM és relativament recent. El funcionament continuat de les noves plantes tractant RM a escala industrial haurà d'avalar els rendiments i resultats del procés.

3.1.12. ARROWBIO.

3.1.12.1. Introducció.

El procés ArrowBio ha estat desenvolupat per l'empresa israeliana Arrow Ecology Ltd23, fundada a l'any 1991 (originalment Hydro Power Ltd.). El procés ha estat dissenyat específicament amb l'objectiu de tractar RESTA o RM en massa.

Arrow Ecology és una empresa especialista en tractaments físico-químics i biològics d'aigües residuals i fangs, sistemes hidromecànics i consultoria mediambiental.

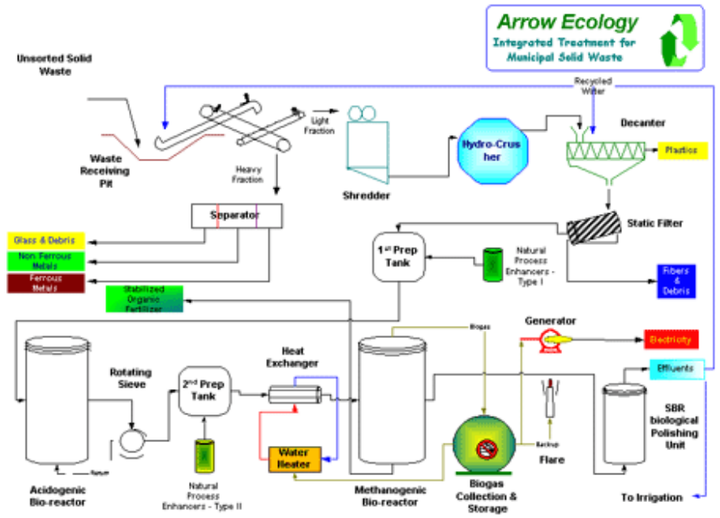
3.1.12.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés ArrowBio utilitza una combinació de pretractament humit dels RM i separació mecànica per a preparar una suspensió dels materials biodegradables.

La suspensió es tracta a un procés de digestió anaeròbia humida mesòfil de dues etapes per a produir un biogàs i un digerit.

Els següents residus es poden tractar al procés:

- RM.
- Residus industrials sense pre-classificar d'empreses del sector paperer i alimentari.
- Purins i residus agrícoles.
- Residus d'escorxador.
- Fangs d'EDAR.
- Fangs industrials.
- Residus de jardí.



Font: ArrowBio

Figura 59. Esquema general de procés ArrowBio

3.1.12.3. Descripció del procés.

El procés ArrowBio de digestió anaeròbia és un procés en dos etapes, que consisteix en una hidròlisi anaeròbia dels residus orgànics i la digestió anaeròbia posterior.

El principal avantatge del procés ArrowBio és que no existeix necessitat d'una separació prèvia dels RM, i poden ser tractats tal i com arriben de la recollida en massa.

En una primera etapa, els materials orgànics i inorgànics es separen en fase liquida per densitats, garbellat i mòlta hidromecànica de la matèria orgànica.

No obstant això, s'ha d'indicar que les dades disponibles no són suficients per a valorar la bondat d'aquest sistema de separació, ja que es desconeix la seva eficàcia, els seus consums, el manteniment associat i, sobretot, el balanç de masses del sistema respecte a les aigües residuals.

[23] L'empressa Oaktech Environmental disposa dels drets del procés ArrowBio al Regne Unit i Irlanda.

A aquesta primera etapa, l'objectiu és separar les fraccions inorgàniques presents als RM (vidre, pedres, metalls i plàstics) a més de preparar la matèria orgànica per a la seva posterior fermentació.

El procés té les següents etapes de tractament:

- Pre-classificació i preparació en humit dels residus.
- Metanització (hidròlisi i digestió).
- Deshidratació.
- Aprofitament del biogàs.

Pre-classificació i preparació en humit dels residus.

Aquesta etapa és la que diferència ArrowBio de la resta de processos de digestió anaeròbia, sobretot respecte al tractament de la matèria orgànica present als RM.

Així, per a la resta de tecnologies de digestió és necessària una classificació i separació de matèria orgànica de forma clàssica (en sec mitjançant trommel o garbell) i posteriorment aquesta fracció separada acaba de netejar-se d'impureses mitjançant sistemes humits (en les tecnologies de digestió humida) o no són total o parcialment separades (digestió de tipus sec).

En aquest cas, els residus són descarregats directament des de els camions de recollida i transport a l'edifici de preparació.

El residus es descarreguen directament en una tremuja i passen a través d'un obridor de bosses i un molí humit.

L'aigua necessària per al procés de mòlta és recirculada a dins de la planta, no essent necessària la addició d'aigua de xarxa.

Des del molí el residu es transporta al tanc de dissolució. En aquest tanc es torna a afegir-se aigua i mitjançant agitació es dissol la matèria orgànica, formant una dissolució que pot ser separada dels materials inerts.

Els materials inerts es recullen a la part inferior del barrejador i es separen mitjançant una comporta amb un disseny especial.

Donades les dificultats que altres processos tenen per a aquesta separació de contaminants, inclús amb la FORM, és necessari assenyalar que resulta imprescindible comprovar els resultats i disponibilitat a escala industrial d'aquest sistema.

Digestió.

La suspensió d'entrada a l'etapa de digestió, amb aproximadament un 3% de matèria seca, té una grandària inferior a 10-15 mm.

El procés de digestió ArrowBio es realitza en dos etapes, la primera d'hidròlisi i la segona de digestió (metanització).

- Hidròlisi:

La suspensió de matèria orgànica es bombeja al tanc d'hidròlisi, a on la matèria orgànica comença a degradar-se en compostos simples (àcids orgànics i àcids grassos).

En aquesta etapa és necessari controlar el pH, la concentració de matèria orgànica i la recirculació dins del tanc de la suspensió.

Aquesta etapa funciona en continu i tal i com s'introdueix, la suspensió s'extrau per a enviar-la al digestor.

El temps de retenció de sòlids a aquesta etapa és d'unes 4 hores.

- Digestió:

La suspensió s'escalfa a aproximadament 40ºC i s'introdueix al interior del digestor per a la degradació dels compostos orgànics i la formació de biogàs.

El digestor és de tipus UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). A aquest tipus de digestor, la suspensió s'introdueix per la part inferior del digestor, i circula cap a la part superior a través d'un llit granular de fang biològic.

El temps de retenció hidràulic és d'uns 1-3 dies mentre que el temps de retenció de sòlids és de 80-90 dies. Una de les potencials avantatges d'aquest tipus de digestor és l'elevat temps de retenció de sòlids (gràcies a la recirculació de la suspensió) que permet la degradació de materials de difícil fermentació i una elevada producció de biogàs. Tanmateix, donat l'elevat temps de retenció de sòlids, és esperable una menor quantitat i un elevat grau d'estabilització del digestat.

El control del procés és similar a la hidròlisi i té especial importància la recirculació de material.

El procés es realitza també en continu i s'extrau del digestor el mateix volum que s'alimenta. Segons Arrow Ecology no s'afegeix aigua fresca al procés.

El biogàs que es genera al digestor es recull i part d'ell es recircula a la zona inferior del mateix per a agitar la dissolució sense mitjans mecànics. Així mateix, el biogàs no recirculat es condueix a un gasòmetre per al seu aprofitament posterior.

Font: Arrow Ecology

Figura 60. Vista general reactors biològics ArrowBio. Planta de Tel Aviv (Israel)

Deshidratació.

El digestat es deshidrata mitjançant un filtre premsa. El contingut de humitat del digestat deshidratat és d'un 65-70%.

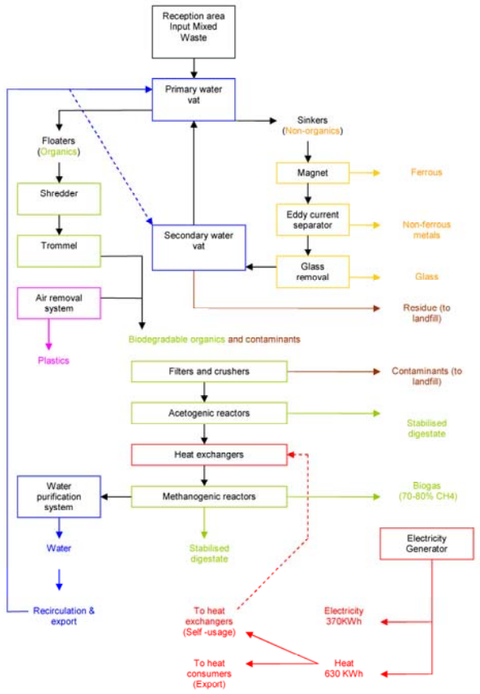
Unitat de tractament de les aigües residuals.

Si la normativa local ho requereix, l'excedent d'aigües residuals es pot sotmetre a un tractament addicional per a complir amb els paràmetres específics d'abocament.

Senyalar que a l'esquema general del procés d'ArrowBio, s'inclou una planta de depuració d'aigües residuals de tipus SBR (Sequencing Batch Reactor).

A la planta de Tel Aviv (Israel), l'excedent d'aigua s'aboca a la xarxa de clavegueram.

A la figura següent es presenta l'esquema general del procés ArrowBio.



Font: Arrow Ecology

Figura 61. Esquema general del procés ArrowBio

3.1.12.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per RM en massa. – Procés flexible per a tractar diversos tipus de residus d'entrada gràcies a l'etapa de pretractament humit dels residus. – Procés netament excendentari d'energia.	– Només disposa d'una planta en operació. – A la planta de demostració a Israel el digestat s'utilitza com a producte fertilitzant. Com a altres processos de digestió, es requeriria la posterior bioestabilització del digerit per a complir amb la legislació a alguns països de la UE. – El procés requereix importants quantitats d'aigua i de tractament de les aigües residuals.

3.1.12.5. Rendiments del procés. Balanç de masses i energia.

Els rendiments i balanços del procés a la planta de Tel Aviv (Israel) són els següents:

– Entrades:

  · RM en massa: 100%

– Sortides:

  · Metalls fèrrics i no fèrrics: 3-4%
  · Plàstics lleugers: 9-17%
  · Inerts, rebuigs i altres residus: 12-14%
  · Digestat: 8-10%
  · Biogàs: 8-10%
  · Aigües residuals a depuració (excés): 20-28%

El consum d'energia elèctrica de la planta és d'uns 200-400 kWh/t. La generació d'energia elèctrica és d'uns 370 kWh/t i l'excedent de calor és d'uns 630 kWh/t.

3.1.12.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
2003	Tel Aviv, Israel	70.000*	RM en massa
2005 (adjudicació)	Sydney, Austràlia	90.000	RM en massa

* Actualment, la capacitat de la línea de pretractament humit és del 50% donat que per limitacions d'espai no s'ha pogut ampliar amb la segona línea prevista per la capacitat de disseny.

Taula 24. Referències d'ArrowBio a plantes de tractament de RM

3.1.12.7. Resum. Conclusions.

– El procés ha estat demostrat per al tractament de RM (planta de demostració).

– Encara no es disposa de suficient informació acumulada d'operació per a garantir els rendiments i disponibilitat del procés a escala comercial.

– La tecnologia no ha operat fora d'Israel, pel que determinats elements de la instal·lació (p.e. tractament de les aigües residuals, confinament i tractament d'aires i estabilització del digestat) haurien de modificar-se i/o adaptar-se per a complir amb determinats estàndards de la UE i/o requeriments locals. Això tindria el seu impacte sobre el cost i termini d'entrega de la instal·lació.

– El procés utilitza una gran quantitat d'aigua, i en conseqüència, requereix d'una planta de tractament d'aigües residuals d'elevada capacitat.

– El procés es pot configurar per a optimitzar la recuperació de materials i la producció d'electricitat.

3.1.13. IMK (BIOENERGIE).

3.1.13.1. Introducció.

Bioenergie ha desenvolupat el procés IMK (Procés Integrat per a Metanització i Compostatge de Residus Orgànics).

L'empresa PASCH és la representat comercial a Espanya de Bioenergie.

3.1.13.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés IMK és un procés en dos etapes, que consisteix en un pretractament aeròbi de residus orgànics i la fermentació anaeròbia de l'aigua altament enriquida en matèria orgànica procedent de la fase aeròbia.

El procés IMK permet per les seves característiques específiques permet la manipulació de residus orgànics molt humits d'orígens diversos, com:

- FORM.
- Fangs de depuradores.
- Residus de parc i jardins.
- Residus procedents de separadors de greix.
- Aliments caducats.
- Residus de fruites i verdures de les grans superfícies.
- Residus de cuina i menjar de restaurants, cantines i complexes hotelers.
- Fems i purins de granges.

3.1.13.3. Descripció del procés IMK (Bioenergie).

La instal·lació de producció de biogàs segons el procés IMK consta generalment de sis etapes:

1. Preparació de la fracció orgànica.
2. Hidròlisi i acidificació del residu.
3. Metanització per la fermentació de la matèria orgànica.
4. Utilització del biogàs.
5. Tractament d'olors.
6. Tractament de l'aigua excedentària.

Preparació de la fracció orgànica.

Les entrades de residus són registrades a la zona d'entrada de la instal·lació. S'efectua el seu pesatge i la descàrrega dels mateixos. Els residus orgànics passen a un transportador, la alimentació d'aquest es realitza mitjançant una pala carregadora.

Els residus passen a un trommel al que es separen els materials voluminosos o indesitjables per les etapes posteriors del procés. Aquests materials queden emmagatzemats en una tremuja intermèdia.
Segons la composició dels materials del sobreeiximent del garbell, o bé són transportats per al seu tractament, o bé si el contingut en matèria orgànica és elevat passen a una trituradora i novament al trommel.

El material de pas del trommel es condueix als reactors aerobis (hidròlisi) mitjançant un transportador. El elements fèrrics es separen mitjançant un separador magnètic.

La preparació depèn de les exigències del servei, dels materials de l'alimentació i de la logística i tipus de recollida.

Reactor aerobi.

A aquesta etapa es produeix la hidròlisi del material.

El material és introduït al reactor aerobi mitjançant un transportador de cadena, a on es barreja amb aigua, fins a arribar a un contingut de matèria seca del 25%.

Per a això, s'utilitza sempre que sigui possible aigua de recirculació.

Mitjançant transportadors de "cargol", amb gir invers, disposats als fons del reactor el material és triturat i al mateix temps, es realitza la barreja i homogeneïtzació del producte.

Controlant l'addició d'aire i la concentració de CO_2 s'aconsegueix mantenir al producte del reactor una elevada reacció exotèrmica, intensiva, i arribar a temperatures de fins 70ºC, suficient per a la higienització durant el procés aerobi. Els àcids formats donen lloc a que el valor del pH estigui entre aproximadament 4,2 i 4,5.

De manera regular, cada 24 hores, el material del reactor aerobi es premsa mitjançant una premsa de cargol, fins a arribar a un contingut de matèria seca del 50% i aquesta torna al reactor aeròbic a través d'un sistema de recirculació. Es dilueix de nou amb aigua fins tenir un contingut en matèria seca del 25%, iniciant-se novament el procés aeròbic.

Una vegada transcorregut un cicle de manipulació amb un total de tres dies (efectuats tres premsats de fluid).

La matèria seca premsada es diposita en piles per a l'estabilització aeròbia final del producte. Aquest procés implica una reducció de la massa de l'ordre del 50-60%. No obstant, el volum de la pèrdua de massa depèn de la composició del material d'alimentació. Com més gran sigui el percentatge de lignines, menor serà la reducció de massa.

L'aigua de procés procedent de les operacions de premsat es bombeja i passa a través d'un cicló, el qual separa la sorra de l'aigua. Per altre part, les partícules orgàniques i els àcids lliures romanen a la corrent d'aigua i es condueixen al dipòsit d'emmagatzematge intermedi previ als reactors anaerobis. Des d'aquest dipòsit es bombeja l'aigua de forma continua al reactor anaerobi.

L'aire carregat d'olors procedent tant del reactor aerobi com dels transportadors, és aspirat i depurat mitjançant un filtre biològic o biofiltre.

Digestió anaeròbia.

El digestor anaerobi s'alimenta amb l'aigua del procés, procedent de les operacions de premsat del reactor aeròbic d'hidròlisi, que està carregada amb un elevat contingut de matèria orgànica.

Per a arribar a l'activitat òptima de les bactèries anaeròbies, el valor del pH al reactor anaeròbic ha de tenir un valor d'aproximadament 7,5. Donat que l'aigua procedent del premsat té un valor de pH considerablement inferior, aquesta després del premsat no por ser bombejada immediatament al reactor anaerobi.

Donat que la fase aeròbia funciona de manera intermitent, mentre que la anaeròbia és continua, l'aigua procedent del premsat té que passar a un dipòsit intermedi de regulació.

Des d'aquest dipòsit es bombeja de forma continua al primer dipòsit de la fase anaeròbia.

La fase anaeròbia, després del dipòsit intermedi, està constituïda per tres dipòsits en els que l'aigua fluix de forma continua, en sèrie. D'aquesta manera, es pot evitar la possible formació de tallscircuits en el flux tal i com succeiria en el cas de tenir un sol dipòsit.

Font: Bioenergie

Figura 62. Vista general dipòsits i reactors biològics IMK

Els dipòsits estan equipats amb un mecanisme agitador per a aconseguir que el reactor tingui una barreja homogènia.

El biogàs obtingut s'envia a un gasòmetre. El gasòmetre serveix com a dipòsit regulador.

La composició del biogàs és la següent:

- CH_4 ..... 65 – 70%
- CO_2 ..... 30 – 35%
- H_2S ..... < 0,1%

El temps de residència al reactor anaerobi és d'aproximadament 10 dies.

- Metalls pesants.

El procés IMK permet una eliminació parcial de la fracció sòlida digerida dels metalls pesats dels residus biològics.

Els metalls pesats que estan en o juntament amb la substància orgànica són rentats amb l'aigua del reactor de matèria seca. Al reactor aerobi, els elevats continguts d'àcids orgànics dissolts baixen el valor del pH, el qual produeix l'efecte de "dissolució parcial" dels metalls pesats.

Els metalls pesats dissolts són conduïts al reactor anaerobi juntament amb l'aigua de premsat.

Al reactor anaerobi, el valor del pH està entre els valors de 7 i 8, amb la finalitat d'arribar a l'activitat òptima de les bactèries productores de metà. En aquest ambient es produeix la precipitació dels metalls dissolts en forma de sulfurs i carbonats, molt insolubles.

Els metalls pesats queden al fons formant un fang, el qual pot ser extret i recuperat, o bé depurat. El material pot ser bé incinerat, o bé portat a dipòsit controlat.

	Plom	Cadmi	Crom	Coure	Níquel	Cinc
Aigua de premsat	5,80	0,13	10,70	5,00	5,80	49,40
Aigua anaeròbia	0,94	0,25	0,50	1,40	0,54	11,00
Diferència	4,86	0,105	10,20	3,60	5,26	38,40
Disminució en %	83,80	80,80	95,30	72,00	90,70	77,70

Taula 25. Precipitacions de metalls pesants al reactor anaeròbic IMK (ppm)

A la figura següent es presenta l'esquema general del procés IMK.

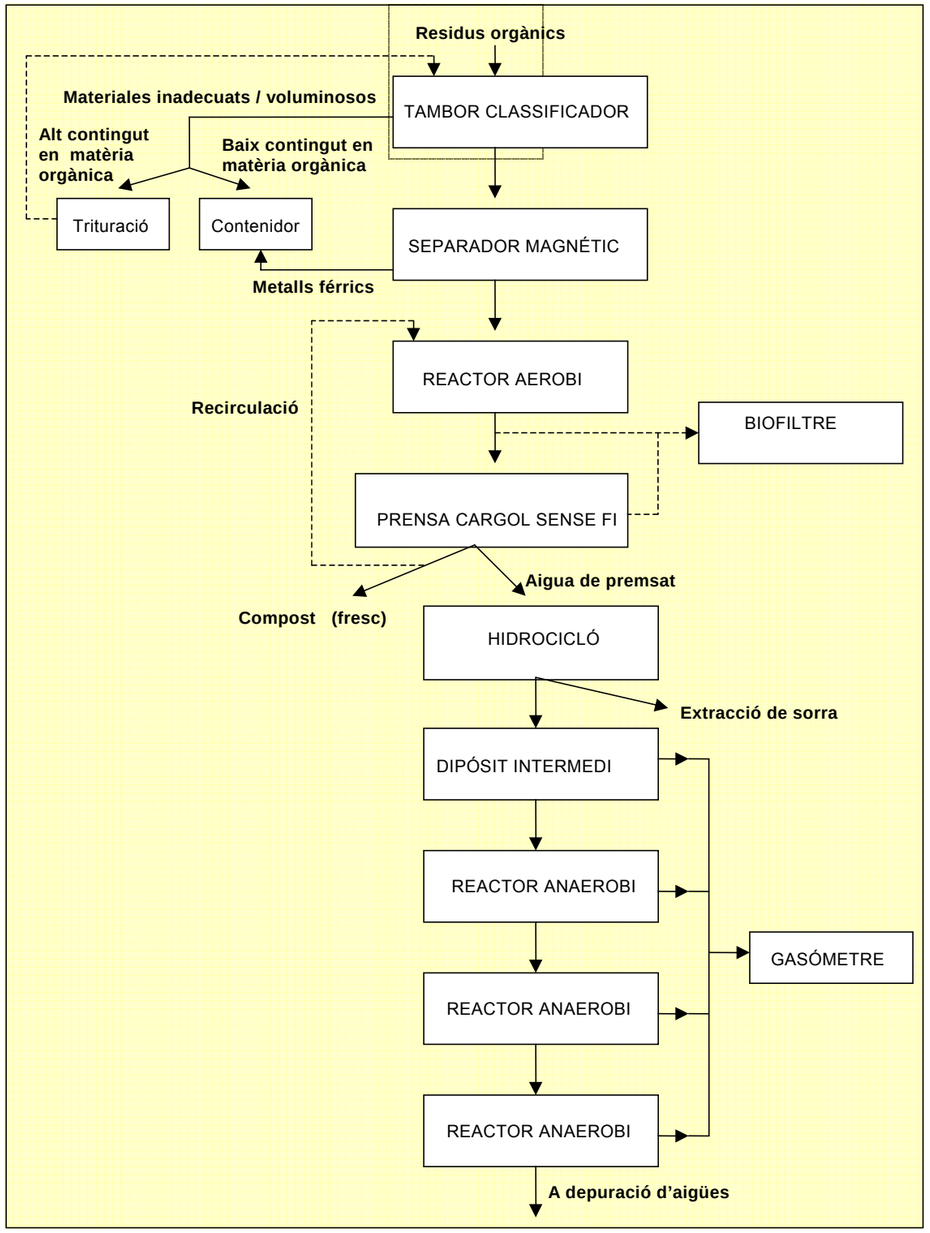


Figura 63. Esquema general del procés IMK de Bioenergie

Unitat de tractament de l'aire.

L'aire viciat que es pot emetre des de diverses seccions de la Planta (barrejador, premsa, etc), és directament extret i enviat a la unitat de tractament d'aire, juntament amb l'aire dels vestíbuls de recepció i post-tractament aeròbic. Aquesta unitat es composa d'un biofiltre, amb la finalitat d'eliminar les males olors.

Unitat de tractament de l'excés d'aigua.

El procés IMK realitza la depuració de l'aigua residual del procés, que no solament conté una relativament baixa fracció de matèria orgànica, si no també un alt contingut d'amoni, fins obtenir aigua amb qualitat que permet el seu abocament a la xarxa de clavegueram.

L'esquema de procés per al tractament de les aigües residuals es presenta a la figura següent.

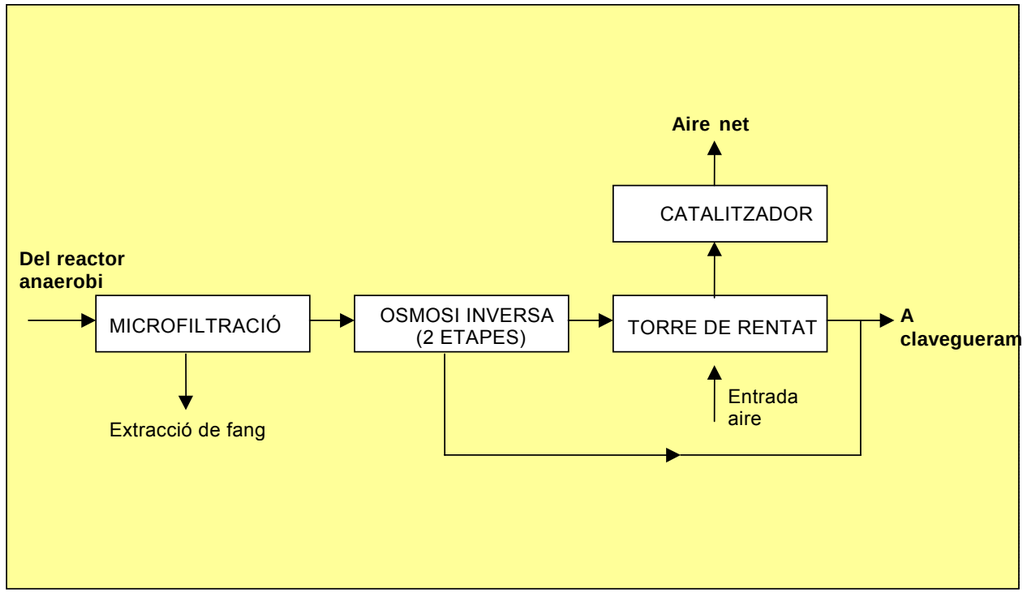


Figura 64. Esquema tractament aigües residuals del procés IMK

La fracció orgànica està normalment en forma de partícules orgàniques, donat que la matèria orgànica dissolta s'elimina al reactor anaerobi. Les partícules orgàniques es separen mitjançant microfiltració.

A continuació, l'aigua s'envia a una osmosi inversa (amb 2 etapes). De l'osmosi inversa s'obtenen dues corrents: permeat i concentrat.

El permeat, aproximadament un 90%, està pràcticament lliure d'amoni. El concentrat conté la gran totalitat de l'amoni.

Mitjançant una instal·lació de separació per *stripping*, es pot separar l'amoni d'aquest concentrat.

El concentrat es fa circular en contracorrent amb una corrent d'aire per a extreure l'amoni que passa de la fase líquida a la gasosa.

La neteja de l'aire de sortida es realitza mitjançant un catalitzador. L'aire a la sortida del catalitzador solament conté molècules elementals de nitrogen i vapor d'aigua, i està lliure d'olors.

Després de la instal·lació de separació tornen a ajuntar-se els dos fluxos d'aigua. El resultat és un aigua que pot ser depurada, per exemple, mitjançant una instal·lació depuradora o bé utilitzada com aigua per la humidificació del compost.

3.1.13.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés netament excedentari d'energia	– No disposa de referències amb digestió de RESTA. Només disposa d'una referència amb digestió de FORM. – No es disposa d'informació de l'estat comercial actual de la tecnologia.

3.1.13.5. Rendiments del procés. Balanç de masses i energia.

El balanç de masses aproximat per a una instal·lació de 40.000 t/any de FORM és el següent:

Composició del residu d'entrada	
Matèria orgànica	72 %
Impropis	28 %
Matèria seca	27 %
Matèria orgànica sobre matèria seca	57 %

Balanç de masses	
Entrades:	
Alimentació:	40.000 t/any residus orgànics
Consum d'aigua fresca	204 m^3/any
Sortides:	
Impureses (contenidor)	11.200 t/any
Materials pesats	778 t/any
Biogàs	2.493.180 Nm^3/any (62,3 Nm^3/t)
Sòlids	28.227 m^3/any
Aigües residuals	7.698 m^3/any (0,19 m^3/t input)

Balanç d'energia	
Producció Biogàs	2.493.180 Nm^3/any (62,3 Nm^3/t)
Potència combustible	18.205.670 kWh/any (7,3 kWh/Nm^3)
– Electricitat produïda	5.509.928 kWh/any (137,7 kWh/t)
– Excedent d'electricitat	4.132.446 kWh/any (103,3 kWh/t)
– Consum propi d'electricitat	1.377.462 Nm^3/any (34,4 kWh/t)
– Aigua circuit de refrigeració	5.347.871 kWh/any (133,7 kWh/t)
– Energia gasos d'escapament	3.241.134 kWh/any (81 kWh/t)
– Pèrdues	2.106.737 kWh/any (52,7 kWh/t)

3.1.13.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
1999	Herten, Alemanya	20.000	FORM

Taula 26. Referències d'IMK (Bioenergie).

3.1.13.7. Resum. Conclusions.

- No disposa de referències amb digestió de RESTA. Només disposa d'una referència amb digestió de FORM.
- No es disposa d'informació de l'estat comercial actual de la tecnologia.

3.1.14. ISKA.

3.1.14.1. Introducció.

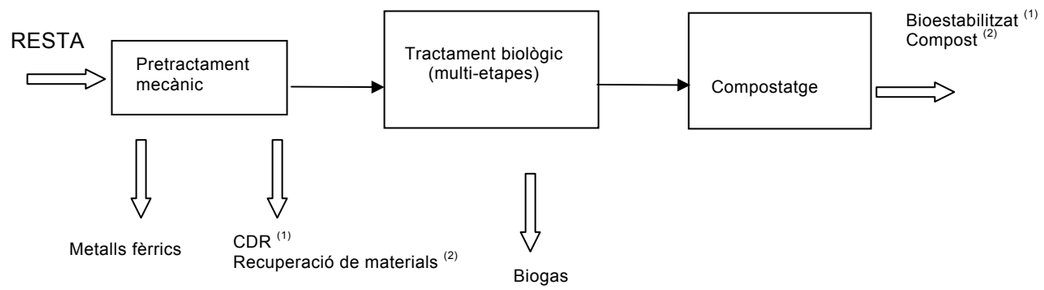
La companyia Alemanya ISKA GmbH forma part del grup U-plus Umweltservice AG del qual EnBW (Energie Baden-Württemberg AG) és el principal accionista. La principal activitat d'U plus són els serveis de tractament de residus; i la seva empresa associada T-plus opera diverses plantes de tractament de residus a Alemanya. EnBW és actualment propietat majoritàriament d'EDF (Electricité de France).

ISKA per la seva part és una empresa de petita grandària fundada per a comercialitzar la tecnologia de percolació llicenciatària de U-plus a Europa.

La tecnologia de percolació té el seu origen a la mateixa patent suïssa de Wehrle però ambdues es comercialitzen amb una configuració diferent de processos. Ambdues empreses informen que han protegit els seus posteriors desenvolupaments per separat del concepte de percolació amb les patents necessàries. ISKA ha signat un acord amb l'empresa australiana Global Renewables Ltd. (GRL) per l'ús del procés a Austràlia, Àsia i Pacífic Sur.

3.1.14.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés TMB de ISKA és un procés que combina la percolació aeròbia (rentat amb aigua dels residus per a lixiviar la fracció orgànica biodegradable), digestió anaeròbia dels lixiviats de la percolació i compostatge.



(1) A les plantes d'Alemanya
(2) A la planta de Sydney

Font: adaptat de la documentació de ISKA

3.1.14.3. Descripció del procés.

Pretractament mecànic.

Els residus són transportats directament després del pesatge a la plataforma de descàrrega a on són descarregats a la fossa d'emmagatzematge.

L'alimentació des de la fossa a la taula alimentadora de la línea de tractament es realitza mitjançant un pont grua amb cullera controlada manualment des de la cabina i després d'una inspecció visual. Els voluminosos són separats de la resta del material. El pont grua també pot operar automàticament per a la alimentació a la línia de tractament i per a la gestió de la fossa.

Els residus són transportats des de la taula alimentadora a través d'un obrebosses per la banda transportadora fins els següents sistemes de tractament mecànic.

El següent pas en el tractament mecànic condueix a un trommel amb una malla de grandària adequada per a recuperar una fracció gruixuda seca i un contingut orgànic baix (>120 mm) i una fracció fina rica en material orgànic (< 120 mm). Un conjunt de pinxos integrats al trommel obren i buiden les bosses. Les dos fraccions passen per un separador de metalls fèrrics i un separador de metalls no fèrrics. Aquestes fraccions es recullen en contenidors específics.

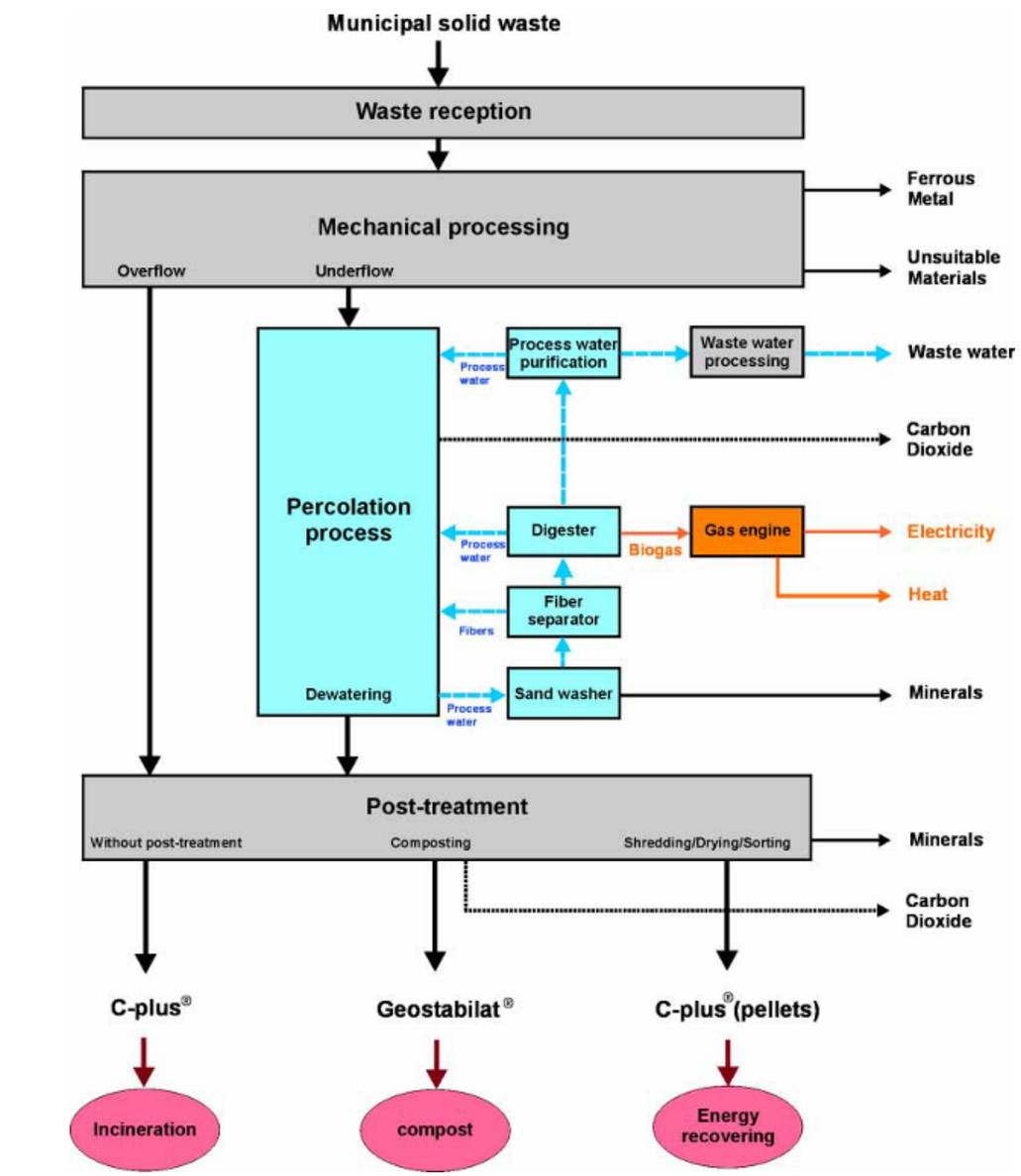
La fracció gruixuda (> 120mm) obtinguda del trommel, consisteix principalment de plàstic film, paper i cartró. Aquesta fracció es portada per bandes transportadores cap a fora i es recull en contenidors específics. Aquesta fracció pot enviar-se a dipòsit controlat o comprimir-se per a ser emprada com a CDR (anomenat per ISKA com C-plus).

La fracció fina del trommel (< 120mm) és rica en materials orgànics i fàcilment degradables dels residus. Després de la separació de metalls, la fracció fina es transporta per bandes transportadores i es distribueix alimentant els percoladors a través de transportadors helicoïdals.

Les escluses, plataformes de descàrrega i zones d'emmagatzematge i de tractament estan tancades i disposen d'un sistema de captació d'aire que assegura la ventilació suficient. Es realitzen captacions locals als punts de més generació d'olors.

Senyalar que el pretractament mecànic a la planta de Sydney, Austràlia (llicenciatària de GRL) és molt més intensiu i està dissenyat per a realitzar una recuperació dels materials.

A la figura següent es presenta l'esquema general del procés ISKA.



Font: Iska

Figura 65. Esquema general del procés ISKA

<u>Percolació.</u>

La capacitat de cada mòdul de percolació és de 135 t/d en funcionament normal.

La fracció orgànica passa al percolador amb una temperatura de 40º a 45ºC i amb un temps de residència de dos dies. Les substàncies orgàniques solubles es separen mitjançant un procés de rentat, introduint aire comprimit, aigua de procés pre-escalfada i energia mecànica.

Aquest tractament causa una activitat bacteriana aeròbia i facilita així una hidròlisi àcida aeròbia biodegradable. L'aigua de procés, enriquida amb matèria orgànica (percolat), surt del percolador per les obertures del garbell.

Font: Iska

Figura 66. Vista exterior del percolador ISKA

Font: Iska

Figura 67. Vista interior del percolador

El material sòlid passa al sistema de deshidratació mitjançant un cargol d'extracció, a on es deshidrata fins un contingut de matèria seca d'un 52%. L'aigua de deshidratació torna al circuit de l'aigua de procés.

El sòlid de deshidratació es pot emprar com a CDR o bioestabilitzar-se abans de enviar-se a dipòsit controlat.

A les plantes d'Alemanya, aquest material s'estabilitza per a complir amb els paràmetres d'estabilització (AT_4) fixats per la normativa alemanya.

A la planta de Sydney (Austràlia), el bioestabilitzat s'utilitza com a compost.

Tractament de l'aigua de procés.

L'aigua separada al percolador o a la premsa de deshidratació conté matèria orgànica, minerals i fibres. Els components minerals pesats i inerts (sorra, graveta, vidre, etc) i les fibres es separen de l'aigua del procés mitjançant sedimentació i flotació. L'aigua tractada (percolat) en gran part lliure de minerals i fibres, arriba a un dipòsit previ al digestor.

Digestió de l'aigua de procés.

Des del dipòsit s'introdueix el percolat al digestor a on les bactèries anaeròbies i metanogèniques transformen les substàncies orgàniques en biogàs. El temps de residència al digestor és d'uns 5 dies.

El digestor és del tipus "flux ascendent" híbrid (on la biomassa es troba en suspensió i en un llit fix) que pot mantenir una alta càrrega de biomassa, augmentant la tassa de digestió permetent temps de residència inferiors.

Al digestor, el percolat s'introdueix per uns difusors per la part inferior i circula en un flux ascendent a traves del llit fix del digestor. Les bactèries a la part superior del digestor es retenen al llit del digestor.

En ocasions, s'afegeix clorur fèrric a fi de precipitar els sulfurs i reduir la formació d'àcid sulfhídric. La generació de biogàs és de 50 a 60 Nm^3 per tona de residu d'entrada a la planta.

Depuració de l'aigua de procés.

La depuració de l'aigua de procés consisteix principalment en l'eliminació d'amoni, i és realitza mitjançant un "stripping" i posterior captació de l'amoni amb una torre de rentat a contracorrent amb àcid sulfúric.

L'aigua depurada es reutilitza com aigua de procés. L'aigua excedentària s'utilitza a l'etapa final d'estabilització aeròbia o compostatge. En aquest cas, el procés amb percolació no requereix d'una aportació externa d'aigua.

Tractament del biogàs.

El biogàs pot contenir una gran quantitat d'àcid sulfhídric (fins a 3.500 ppm).

Per això, abans d'utilitzar-ho al motor de gas es realitza una desulfuració biològica. Gràcies a les bactèries fixades a la superfície del rebliment a l'interior de les torres de desulfuració, l'àcid sulfhídric, contingut al biogàs, s'oxida i s'extrau del procés com àcid sulfúric.

Utilització del biogàs.

L'aprofitament del biogàs es realitza en motors de gas els quals són subministrats de manera modular en contenidors.

La capacitat instal·lada seria de 10MW (per a una planta de 185.000 t/any de capacitat), del qual el 40% correspon a la capacitat elèctrica i 46% a la capacitat tèrmica.

Compostatge / estabilització aeròbia.

El sòlid orgànic de la percolació es garbella a una grandària de 30 a 50 mm. La fracció > 50 mm, formada bàsicament per material no biodegradable i elevat poder calorífic es junta amb la fracció d'alt poder calorífic del pretractament mecànic. La fracció < 50 mm s'envia al procés de compostatge / estabilització aeròbia.

La tecnologia d'estabilització aeròbia / compostatge a les plantes de Buchen (Alemanya), Heilbronn (Alemanya) i Sydney (Austràlia), és un procés amb voltejadora automàtica a nau tancada (de l'empresa VKM Anlagenbau und Umwelttechnik GmbH a les plantes a Alemanya i de l'empresa SCT Sorain Cecchini a la planta de Sydney).

El material roman a la nau de compostatge durant 8-9 setmanes i s'humidifica amb l'aigua depurada del sistema de percolació.

Després d'aquest temps de maduració el material arriba als criteris d'estabilitització alemanys (*Technischen Anleitung Siedlugsabfall – TASI*) els quals són molt més estrictes que els de la Unió Europea.

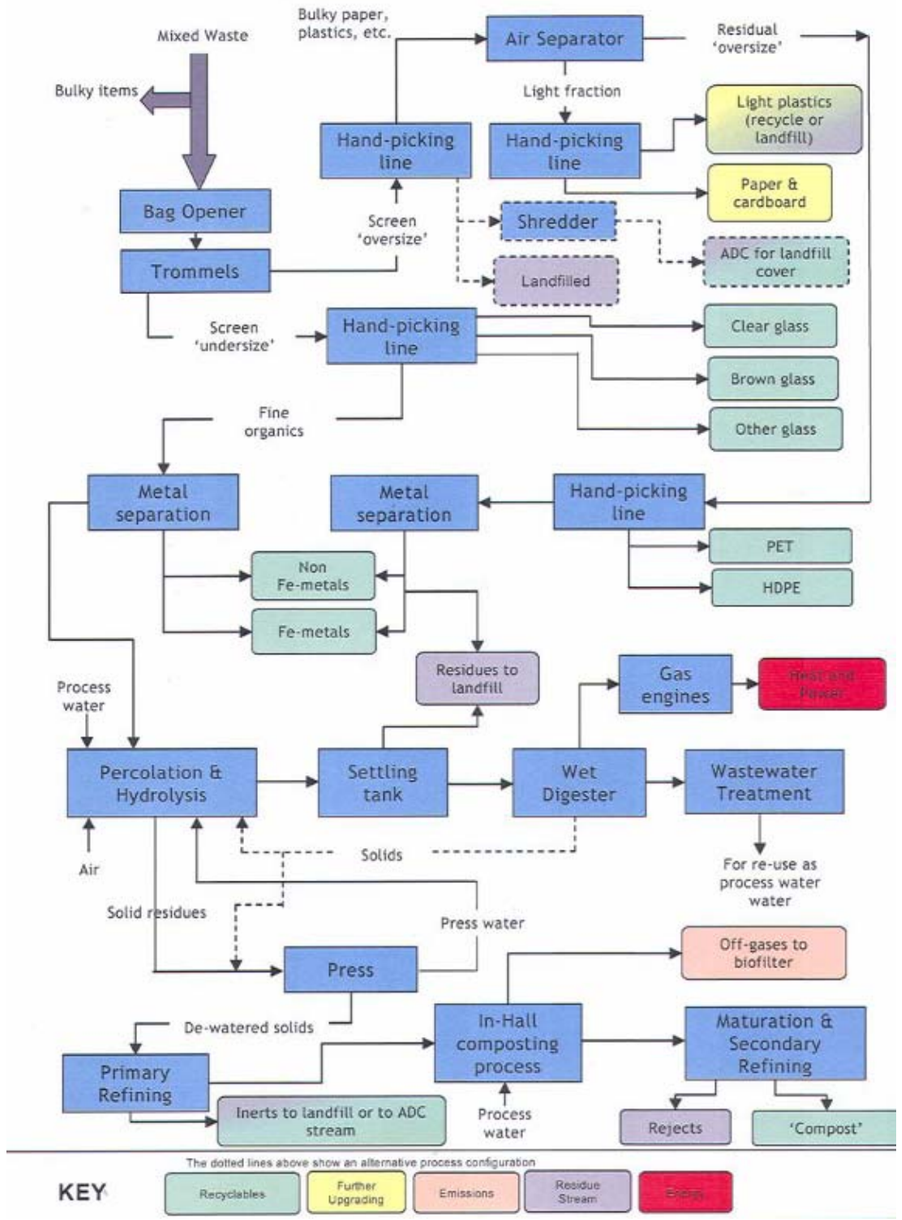
En cas de no requerir-se un valor d'estabilització tan exigent, el sistema de compostatge podria reduir-se. El bioestabilitzat rep el nom per ISKA de "Geostabilat".

També s'ha de tenir en compte la possibilitat d'un sistema de compostatge cobert (intensiu) durant aproximadament 2 setmanes seguit per un sistema obert. Això baixaria els costos d'inversió així com les despeses d'energia elèctrica.

Finalment, el bioestabilitzat (a les plantes d'Alemanya) es garbella per a recuperar la fracció orgànica no biodegradable que s'afegeix a la fracció gruixuda per a la producció de CDR.

A la planta de Sydney, el compost rep un post-tractament d'afí.

A continuació es presenta l'esquema de procés de la planta de Sydney (Austràlia).



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005.

Figura 68. Esquema del procés a la planta de Sydney (Austràlia)

Tractament de l'aire de sortida.

El tractament de l'aire es dissenya per a minimitzar el cabal d'aire a tractar. L'aire es reutilitza a les diferents etapes del procés.

El procés es realitza a naus tancades amb captacions locals als punts de major generació d'olors. L'aire de l'etapa de pretractament mecànic s'utilitza com a aire d'aportació al compostatge. En funció dels requeriments o normatives locals l'aire es tracta a biofiltres (com a la planta de Sydney) o amb oxidació tèrmica regenerativa (com a les plantes d'Alemanya).

3.1.14.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés flexible que es pot configurar per a produir CDR, biogàs i un bioestabilitzat. – Procés netament excedentari d'energia. – Sistema modular. – A diferència de moltes empreses de TMB, ISKA és en últim terme propietat d'una empresa de gran grandària (EDF).	– Procés multi- etapa relativament complex. – Si bé s'ha demostrat el procés a la seva planta de demostració a Buchen, Alemanya (operant des de Juny 2000 a Novembre 2003) amb un capacitat de 20.000 t/any de RESTA, actualment s'estan posant en servei les seves plantes a escala comercial.

3.1.14.5. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.

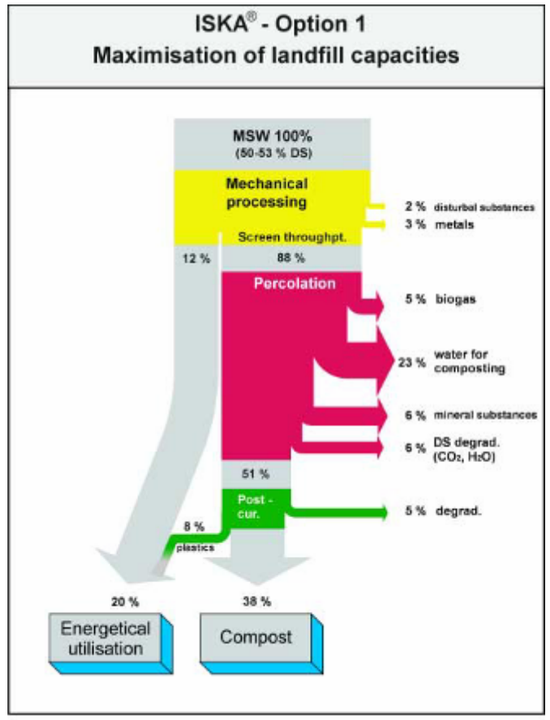
Iska presenta tres configuracions bàsiques dels seu procés segons els objectius:

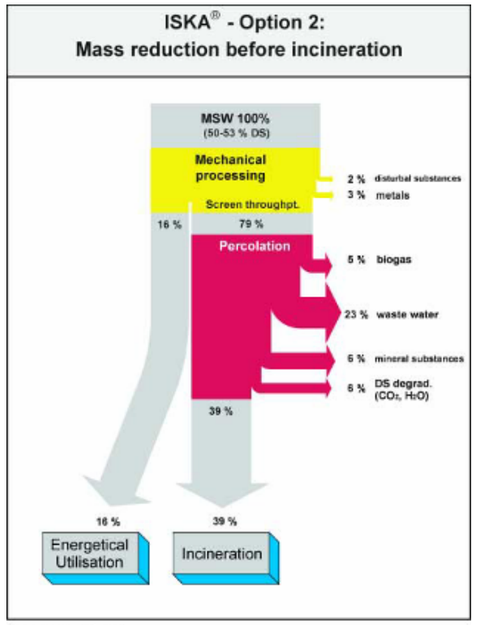
– Opció 1: Maximitzar la capacitat del dipòsit controlat. Senyalem que la configuració de totes les plantes de referència d'Iska es correspondrien a aquesta opció.

– Opció 2: Reducció de massa abans d'incineració.

– Opció 3: Maximitzar la utilització del residu.

A continuació es presenten els fluxos de matèria típics de cada configuració.





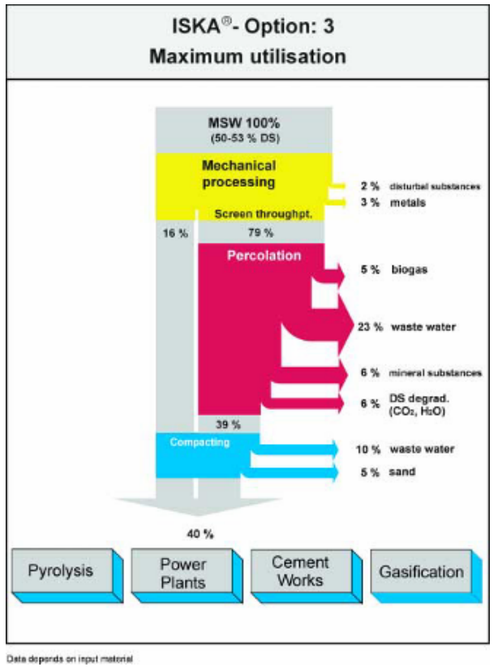


Figura 69. Diferents configuracions del procés ISKA

A continuació es presenten les dades principals del procés, rendiments i balanços per una planta tipus de 185.000 t/any de RESTA:

Matèria seca (MS)	51,0%	
	Ton	% percentatge del residu introduït
Tractament previ mecànic		
Residu introduït en total	185.000	
	Contingut MS: 61 %	
Excedent de garbellat > 140 mm	22.385	12,1%
Metall fèrric	5.735	3,1%
Percolador		
Residu introduït al percolador	156.880	84,8%
Sorra, inerts	5.550	3,0%
Sortida al percolador	98.403	53,2%
Garbell 50 mm	Contingut MS: 65%	
Excedent de garbell >60mm	9.801	5,3%
Maceració final		
Residu introduït al compostatge	88.602	47,9%
	Contingut MS: 72%	
Sortida de compostatge	50.499	27,3%
Descomposició		
Descomposició en total	91.030	49,2%
Descomposició de la MS en total	30.225	16,3%
Biogàs	13.893	7,5%
Descomposició aeròbica al percolador	1.960	1,1%
Descomposició aeròbica al compostatge	14.371	7,8%
Pèrdua del H_2O	60.805	32,9%
· al percolador	37.074	20,0%
· al compostatge	23.731	12,8%

Aigua generada al procés biològic		
· al percolador	1.225	0,7%
· al compostatge	8.980	4,9%
Total	10.206	5,5%
Suma aigua del procés biològic i lliure	71.011	38,4%

A partir d'aquestes dades, el potencial de desviació de residus amb destinació final a dipòsit controlat (en massa) seria el següent:

Potencial de derivació	Mínim, %	Màxim, %	Base d'estimació
Percentatge del residu d'entrada al procés que pot desviar-se de dipòsit controlat	Aprox. 52	Aprox. 69,7	Min: Bioestabilitzat, sorra i inerts i rebuigs a dipòsit controlat. Sense valorització energètica dels rebuigs amb elevat poder calòric o CDR. Màx.: Bioestabilitzat, sorra i inerts a dipòsit controlat. Valorització energètica dels rebuigs amb elevat poder calòric o CDR.

Els fluxos de matèria a dalt indicats són el resultat de l'operació i experiència d'ISKA amb la fracció orgànica dels residus a Alemanya. ISKA no té experiència amb la percolació d'una fracció d'una grandària <120mm, però com el contingut orgànic augmenta a les fraccions de menys grandària, podem comptar en aquest cas amb un elevat contingut de matèria orgànica. Com a conseqüència augmentaria tant la pèrdua d'aigua al percolador com la producció del biogàs. La quantitat ampliada dels materials estranys (p.e. plàstics), no interfereix en la funcionalitat del procés.
El 20% de l'aigua generada al percolador s'utilitza com aigua d'aportació al compostatge. Altre 13% s'evapora al compostatge.

Abans del procés de compostatge el material ha de ser garbellat de nou per a eliminar els materials estranys (5%) que encara conté. Així, després del compostatge quedaria aproximadament un terç del material d'entrada a la planta. Aquest material, segons les seves característiques, pot ser utilitzat com esmena orgànica o enviar-se a dipòsit controlat.

3.1.14.6. Impactes ambientals.

- Sistema de tractament de l'aire: En funció dels requeriments o normatives locals l'aire es tracta a biofiltres (com a la planta de Sydney) o amb oxidació tèrmica regenerativa (a les plantes d'Alemanya). A la planta de Buchen (Alemanya), l'autoconsum de biogàs per a la oxidació tèrmica regenerativa s'estima en un 40% de la producció de biogàs.

- Tractament d'aigües residuals del procés:

  La depuració de l'aigua de procés consisteix principalment en:

  · A la sortida del percolador, la filtració de sorres i separació de fibres, i

  · a la sortida del digestor, l'eliminació d'amoni mitjançant un *stripping* i la posterior recuperació de l'amoni a un rentador de gasos amb àcid sulfúric, obtenint-se com a subproducte un concentrat de sulfat amònic.

  L'aigua depurada es reutilitza com aigua de procés. L'aigua excedentària s'utilitza per humidificar el compost. En aquest cas tot el procés de percolació no requereix d'una aportació externa d'aigua.

- Ocupació d'espai i impacte visual: La ocupació d'espai a la planta de Buchen és de 27.000 m^2 per a una capacitat de 165.000 t/any (rati 0,16 m^2/t/any), a la planta de Heilbronn és de 20.000 m^2 per a una capacitat de 80.000 t/any (rati 0,25 m^2/t/any) i a la planta de Sydney és de 30.000 m^2 per a una capacitat de 225.000 t/any (rati 0,13 m^2/t/any).

  Cal destacar la major ocupació d'espai a les plantes a Alemanya donada la major superfície requerida per a la maduració per a complir amb els paràmetres de respirometria del bioestabilitzat a enviar a dipòsit controlat.

  El principal impacte visual vendria donat pels elements de major alçada com serien els digestors (de 12 a 14 metres d'alçada) i la xemeneia d'evacuació del sistema de tractament de l'aire (particularment quan es disposi d'una oxidació tèrmica regenerativa).

3.1.14.7. Costos.

El cost d'inversió orientatiu per a una planta tipus de 185.000 t/any de RESTA és d'uns 50.000.000 €.

3.1.14.8. Referències.

Les referències d'ISKA per instal·lacions TMB són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu	Comentaris
2000	Buchen, Alemanya	30.000	RESTA	Planta de demostració operada entre Juny 2000 i Novembre 2003 1 mòdul de percolació (ampliada)
2002	Sydney, Austràlia(1)	175.000 (2004) 225.000 (2006)	RM en massa	Posta en servei a Octubre 2004 4 mòduls de percolació (2 torns x 7 dies/setmana) (2004) 6 mòduls de percolació (2 torns x 7 dies/setmana) (2006)
2003	Buchen, Alemanya	165.000	RESTA	Posta en servei a Juny 2005 5 mòduls de percolació (2 torns x 5 dies/setmana)
2004	Heilbronn, Alemanya	80.000	RESTA	Posta en servei a Juny 2005 2 mòduls de percolació (2 torns x 6 dies/setmana)

(1) Llicència de GRL. A aquesta planta el pretractament mecànic es molt més intensiu que a les plantes d'Alemanya a fi de recuperar materials.

Taula 27. Referències d'ISKA a instal·lacions TMB

3.1.14.9. Resum. Conclusions.

- Si bé s'ha demostrat el procés a la seva planta de demostració a Buchen (operant des de Juny 2000 a Novembre 2003) amb un capacitat de 20.000 t/any de RESTA, actualment s'estan posant en servei les seves plantes a escala comercial.

- Si bé el procés de percolació es presenta com una alternativa prometedora per a la digestió de RESTA i/o RM en massa, caldrà esperar als resultats de la posta en servei de les seves plantes a escala comercial per a demostrar els rendiments del procés i fonamentar la confiança en el mateix.

3.1.15. WEHRLE UMWELT.

3.1.15.1. Introducció.

Wehrle Werk AG és una empresa de capital privat que té dues divisions de negoci: Wehrle Werk, dedicada a l'energia i fabricació d'equips i Wehrle Umwelt, dedicada al sector mediambiental, incloent el desenvolupament de la tecnologia de percolació de residus conegut com Biopercolat®. Aquesta última divisió és més coneguda per les seves activitats de tractament d'aigües residuals i lixiviats havent subministrat més de 60 plantes de tractament d'aigües a Europa amb la seva tecnologia coneguda com Biomembrat®.

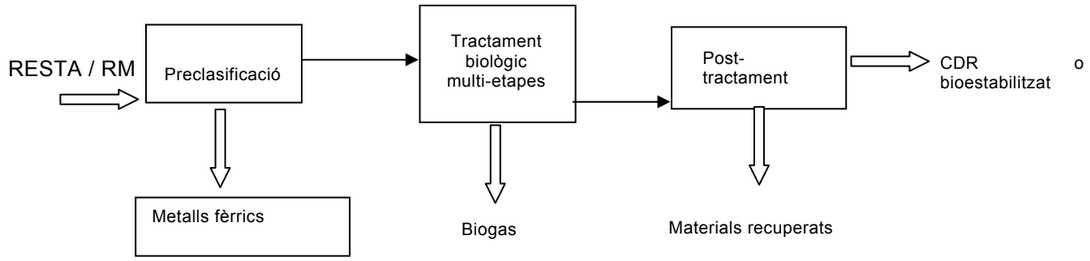
El concepte de percolació és el cor dels processos de tractament mecànic-biològic amb llicència de Wehrle procedent dels desenvolupadors suissos de la tecnologia al 1997. En aquests moments, aquesta llicència finalitza a l'any 2007[24]. S'entén que el concepte original de percolació ha estat posteriorment desenvolupat per Wehrle entre el 1997 i 1999 i la configuració de les instal·lacions TMB incorporen l'assecat aerobi dels sòlids i el tractament de les aigües residuals amb un bioreactor de membrana patentat per Wehrle amb el nom de Biomembrat®.

Wehrle només disposa d'una planta de demostració de 20.000 t/any de RM a Kahlenberg (Alemanya) que ha operat des del desembre de 2000 a desembre de 2003. Actualment, està en construcció una major instal·lació prop d'aquesta amb capacitat per a 100.000 t/any (6 línees de percolació). Està prevista la PEM durant l'any 2006.

3.1.15.2. Descripció general de la tecnologia.

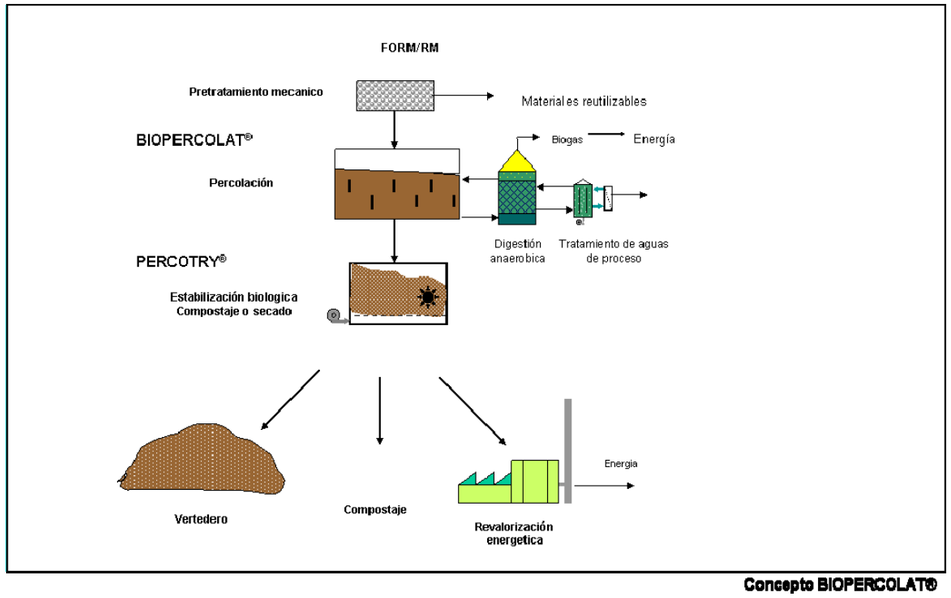
El procés TMB de Wehrle Umwelt és un tractament biològic-mecànic per al tractament de RM basat en una percolació (rentant els materials biodegradables del residu), digestió anaeròbia i, opcionalment, una etapa d'assecat aerobi. Al procés es produeix biogàs i un bioestabilitzat o CDR.

[24] La empresa ISKA també disposa de llicència pel concepte original de la percolació però es comercialitza amb una configuració diferent de procés, de la que opera Wehrle a la seva planta de demostració a Kahlenbeg (Alemanya). Ambdues empreses informen que han protegit els seus posteriors desenvolupaments per separat del concepte de percolació amb les patents necessàries. Wehrle informa que es troba en procés d'aconseguir la patent del BIOPERCOLAT®, la qual esperem per al mes de març del 2006. Aquesta patent persegueix la meta de protegir la propietat intel·lectual de Wehrle sobre el seu propi desenvolupament del sistema de percolació.



Font: adaptat de la documentació de Wehrle Umwelt

El concepte bàsic del tractament mecànic-biològic (Biopercolat) (compostatge) o (combustibles alternatius renovables) dels RM es el següent:



Font: Wehrle Umwelt GmbH

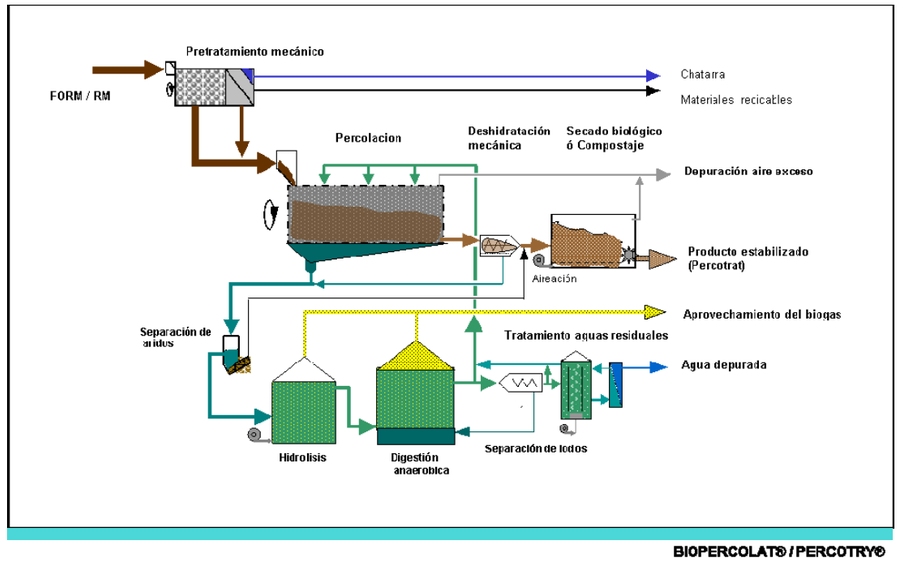
Figura 70. Esquema de principi del procés Wehrle de percolació

3.1.15.3. Descripció del procés.

El procés Biopercolat® és un tractament mecànic-biològic dels RM i altres residus biodegradables que combina un procés aerobi i una digestió anaeròbia. La investigació i desenvolupament del procés, s'ha dirigit cap a una acceleració de la descomposició biològica de les matèries biodegradables d'un residu amb gran contingut d'impropis.

És un procés en dues etapes amb les següents unitats principals:

- Pretractament mecànic.
- Percolació i hidròlisi.
- Compostatge / o assecat biològic.
- Digestió anaeròbia amb aprofitament del biogàs.
- Tractament de l'aigua del procés.



Font: Wehrle Umwelt GmbH

Figura 71. Esquema del procés BIOPERCOLAT®

Pretractament mecànic.

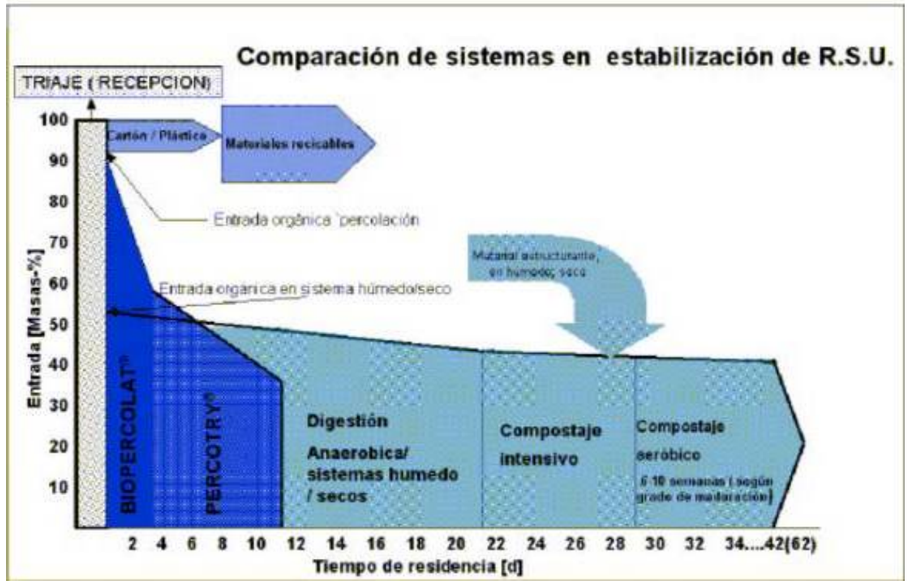
Els residus (FORM, RESTA / RM) són lliurats a la zona de recepció, prèvia al pretractament. Una vegada separats els materials voluminosos (somiers, matalassos, etc.), els residus passen a un sistema de garbellat amb trommel. En aquesta etapa s'eliminen també els metalls fèrrics mitjançant un separador magnètic. Cal destacar que el sistema de pretractament és senzill, no precisant d'equips de fragmentació com molí triturador o pulper, ni tampoc d'un garbell multi-etapes.

Els residus es sotmeten a un garbellat amb un pas de malla de 120-150 mm el que comporta que més d'un 98% de la fracció orgànica sigui introduïda en el sistema (veure

figura anterior), separant-se els materials de grans dimensions. L'excedent del garbellat (plàstics, paper, cartró) pot ser reciclat i reutilitzat.

La fracció gruixuda (làmines de plàstic, cartrons, tèxtils, etc.) és classificada per al seu reciclatge o post-tractament amb els voluminosos.

Els enfonsat del garbellat (trommel), on es troba fins a un 95-98% de la fracció orgànica, s'introdueix en el procés biològic (percolador).



Font: Wehrle Umwelt GmbH

Figura 72.Comparació sistemes d'estabilització de RM. Reducció massa vs. Temps de residència

Percolació.

El percolador és un reactor tancat, per una part, les substàncies dels residus, fàcilment solubles i les odoríferes són extretes mitjançant el rentat (percolació) i per altra part, s'extreu la matèria seca dels residus, quedant aquesta disposada per a la seva estabilització en el post-tractament (compostatge o assecat biològic). La temperatura del procés es manté a uns 35 ºC sota condicions d'aireació forçada. La temperatura es controla mitjançant la degradació parcial dels residus i el cabal d'aire al procés.

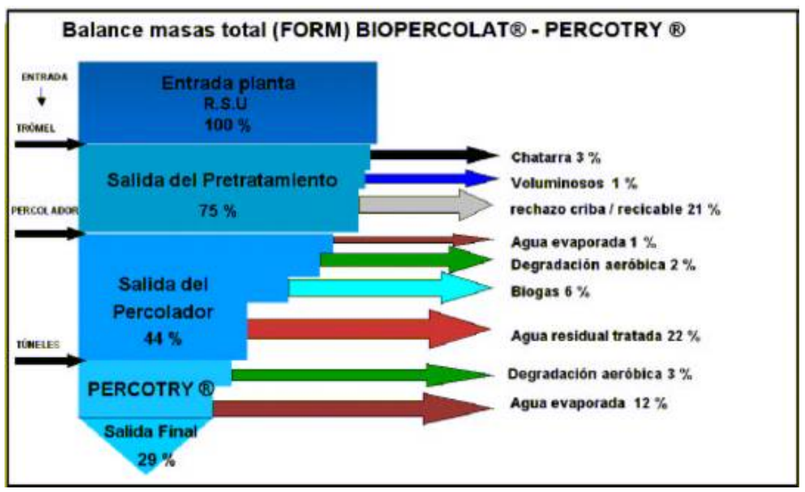
Les aigües de percolació amb l'alta càrrega orgànica (DQO de 50.000-80.000 mg O_2/l) són conduïdes, prèvia separació dels àrids (terres, sorres, etc.) arrossegats a l'aigua de percolació, a un reactor aeròbic, on es produeix la hidròlisi de la matèria orgànica.

La matèria seca dels residus sòlids orgànics es transforma de forma aeròbia dins del percolador i es condueix fora (facilitat pel dispositiu de volteig del percolador). Durant el temps de retenció al percolador, de 40-60 hores i amb ajuda del mecanisme de volteig, s'aconsegueix l'obertura mecànica dels RM (matèries filiformes, paper, cartró, etc.) essent desproveïts de les substàncies minerals i orgàniques que són arrossegades per l'aigua durant la percolació.

Percotry®

El residu sòlid del percolador (anomenat Percotrat per Wehrle) es pot deshidratar mitjançant una premsa mecànica arribant-se a una sequedat d'un 40-60% MS.
L'aigua de premsat es recircula a la digestió anaeròbia. El Percotrat s'envia a l'etapa de compostatge on s'estabilitza amb un tractament d'estabilització biològic (Percotry®) posterior (assecat per a la producció d'un CDR com operava la planta de Kahlenberg, Alemanya).

El Percotry és un procés de secat biològic en túnel on els residus es mantenen durat 5-9 dies i es sequen fins a arribar a una humitat inferior al 15%.



Font: Wehrle Umwelt GmbH

Figura 73. Balanç de masses del procés Biopercolat-Percotry de Wehrle

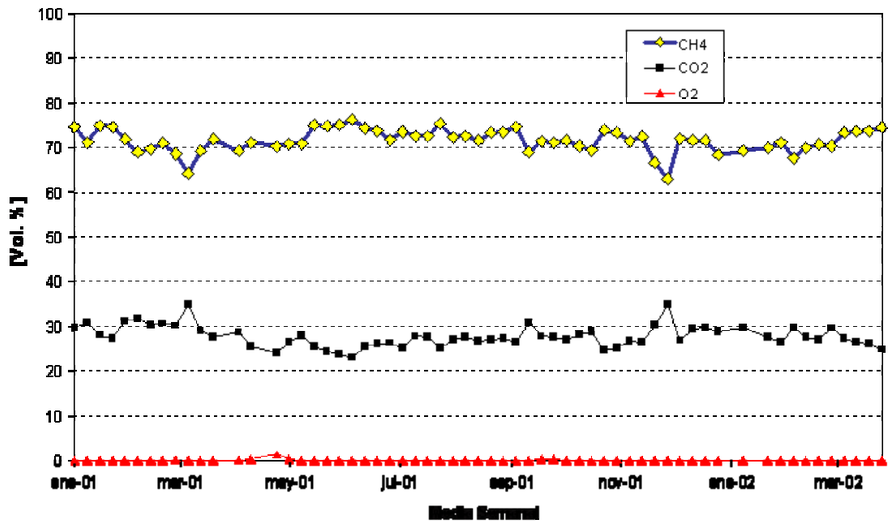
Biologia (hidròlisi / digestor anaerobi).

L'aigua de la percolació es transforma, primerament, per hidròlisi en àcids grassos i passen després al reactor anaerobi on es transforma anaeròbiament en biogàs.

L'etapa anaeròbia consisteix en un digestor de llit fix, el qual s'opera dins del rang de temperatura mesòfila (30-35ºC) i un temps de residència d'uns 3-5 dies. Al contrari que altres sistemes de digestió anaeròbia amb l'objectiu de digerir una major quantitat de materials biodegradables, el concepte de digestió a aquest procés és de digerir els materials més fàcilment digeribles. Per això, el relativament baix temps de residència al digestor comparat amb altres processos de digestió anaeròbia.

La producció de biogàs és d'aproximadament 70-80 m^3 per tona de entrada de residu al procés de percolació amb un contingut de metà d'un 70%.

Les dades sobre la composició i producció de biogàs a la planta de Kahlenberg (Alemanya) són les següents:



Font: Wehrle Umwelt GmbH

Figura 74. Composició de biogàs del procés de percolació de Wehrle durant un període de 61 setmanes (Planta de demostració de Kahlenberg, Alemanya)

El biogàs produït s'utilitza per a la producció d'energia en una planta de cogeneració. El procés proporciona l'energia suficient per al seu propi consum mitjançant l'aprofitament del biogàs. L'energia sobrant pot ser subministrada a la xarxa. A l'etapa anaeròbica, donada l'estructura de la percolació, no s'introdueixen fins (àrids i materials flotants), el que confereix, en principi, al procés una gran flexibilitat i disponibilitat.

<u>Pretractament d'efluents.</u>

La mateixa aigua continguda als residus, i després de ser degradada en el reactor anaeròbic, és la utilitzada com aigua de percolació (no requerint-ne una aportació d'aigua de xarxa per al procés).

L'aigua residual excedentària, sortint del digestor anaerobi, és tractada a una planta aeròbia d'aigües residuals, reutilitzant-se en part com a aigua de percolació.

El tractament en continu de part dels efluents del digestor, substituint-los per aigua depurada, permet mantenir les bactèries al digestor amb uns ratis adequats de carboni/nitrogen (C/N).

En el tractament de les aigües excedentàries, les fraccions orgàniques i els compostos de nitrogen són eliminats mitjançant nitrificació i desnitrificació en un bioreactor amb membranes (Biomembrat®) o en un SBR. El llot actiu es separa de l'aigua depurada mitjançant una ultrafiltració en el cas del Biomembrat® i la biomassa es concentra en el reactor. Els excessos de fangs s'introduiran en el procés de percolació.

3.1.15.3.1. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per RM en massa. – El procés pot ser excedentari en la producció neta d'energia (producció de biogàs) – Sistema modular (cada percolador admet unes 18.000-20.000 t/any).	– No hi ha cap planta a escala industrial. Es preveu la posada en marxa de la nova planta de Kahlenberg (capacitat: 100.000 t/any de RM) durant l'any 2006. – No s'ha realitzat la configuració del procés per a l'obtenció d'un bioestabilitzat en lloc de CDR.

3.1.15.3.2. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.

A continuació es presenten les dades principals del procés, rendiments i balanços per una planta tipus de 30.000 t i 80.000 t per any de RESTA amb la següent composició:

RESTA	
Matèria Orgànica	30 – 45 %
Paper – revistes	10 – 15 %
Cartró	5 – 10 %
Vidre	3 – 8 %
Plàstic – envasos	2 – 5 %
Plàstic – film i d'altres	5 – 10 %
Metalls fèrrics	2 – 4 %
Metalls no fèrrics	1 %
Bricks	1 %
Tèxtil i cel·lulosa	10 – 15 %
Fusta i d'altres combustibles	0 – 10 %
Ceràmics i d'altres inerts	5 – 10 %

Balanç de masses		**Unitats**	**30.000 t/a**	**80.000 t/a**
Entrada planta	**RESTA (veure taula 1)**			
Pretractament		t/a	30.000	80.000
Sortida trommel (valor mig, segons experiències en plantes espanyoles)	Material parcialment reciclable aprox. 22%	t/a	6.600	17.600
	Materials fèrrics aprox. 3%	t/a	900	2.400
Entrada al percolador	Enfonsat del trommel aprox. 75%	t/a	22.500	60.000
	Contingut de la matèria orgànica de resta	%	95-98	95-98
Opció 1ª assecat biològic (producció d'un CDR)				
Percolador	Duració percolació	dies	aprox. 1	aprox. 1
	Degradació aeròbica	t/a	600	1.600
Digestor anaeròbic	Temps de residència	dies	aprox. 4	aprox. 4
Digestió anaeròbica	Biogàs (contingut en ch_4 aprox. 70%)	t/a	1.800	4.800
	Aigua vegetativa extreta	t/a	7.200	19.200
	Producte tractat percolació (percotrat)	t/a	12.900	34.400
Túnels	Duració assecat biològic	dies	aprox. 8	aprox. 8
	Degradació aeròbica	t/a	900	2.400
	Aigua evaporada	t/a	3.600	9.600
sortida túnels	Percotrat sec (estabilitzat parcialment per a disposició a dipòsit controlat o valorització energètica)	t/a	aprox. 8.400	aprox. 20.000
	Contingut en aigua	%	< 15	< 15
	Poder calorífic inferior (PCI)	kJ/kg	18-21.000	18-21.000
Opció 2ª Estabilització per Compostatge				
Percolador	Duració percolació	dies	aprox. 1	aprox. 1
	Degradació aeròbica	t/a	700	1.600
Digestor anaeròbic	Temps de residència	dies	aprox. 4	aprox. 4
Digestió anaeròbica	Biogàs (contingut en metà aprox. 70%)	t/a	1.800	4.800
	Aigua vegetativa extreta	t/a	6.600	17.600
Túnels	Duració compostatge intensiu	dies	aprox. 14	aprox. 14
	Degradació aeròbica	t/a	900	2.400
	Evaporació aigua	t/a	3.600	9.600
Sortida compostatge intensiu		t/a	aprox. 9.000	aprox. 24.000
	Maduració			
(Es considera la solució en eres obertes donat que el residu no porta càrrega amoniacal i per tant, l'emanació d'olors és baixa).	Duració de la maduració	dies	aprox. 38	aprox. 38
	Grau de maduració	Rottegrad	iv-v	iv-v
	Degradació aeròbia	t/a	1.000	2.400
	Aigua d'humidificació del propi procés	m^3/a	1.600	4.000
	Evaporació d'aigua	t/a	2.600	8.000
Producte final		t/a	aprox. 7.000	aprox. 15.000

Energia del biogàs				
Producció	Total	kwh/a	11.900.000	31.500.000
	Elèctrica	kwh/a	4.500.000	11.970.000
	Calòrica	kwh/a	7.400.000	19.530.000
Consum	Elèctrica	kwh/a	3.000.000	8.000.000
	Calòrica	kwh/a	750.000	2.230.000
Excedent	Elèctrica	kwh/a	1.500.000	3.970.000
	Calòrica	kwh/a	6.650.000	17.300.000
Altres consums	Floculants	t/a	no	no
	Aigua de xarxa	m^3/a	no	no
Aigua a tractar	Paràmetres			
	Volum	m^3/a	7.000	18.500
	Conductivitat	µs/cm	15.000-25.000	15.000-25.000
	DQO	mg/l	8.000	8.000
	DBO_5	mg/l	3.000	3.000
	$N\text{-}NH_4$	mg/l	1.500	1.500
	N-kjeldahl	mg/l	1.700	1.700
Aire de procés	A la percolació	m^3/h	aprox. 3.000	aprox. 8.000
	En el PERCOTRY	m^3/h	aprox. 8.000	aprox. 20.000
Tractament d'aire excés	Superfície biofiltre	m^2	aprox. 100	aprox. 280

Font: Wehrle Umwelt GmbH

Taula 28. Dades principals del procés TMB de Wehrle, rendiments i balanços per una planta tipus de 30.000 t i 80.000 t per any de RESTA

3.1.15.4. Impactes ambientals.

- Sistema de tractament de l'aire: Tots els gasos de sortida del procés de la planta en construcció a Kahlenberg (Alemanya) es tractaran a un sistema d'Oxidació Tèrmica Regenerativa (OTR) per a complir amb els exigents requeriments (particularment per Carboni Orgànic Total) de la normativa alemanya d'emissions *30. BImSchV.*

  Les emissions fugitives del interior de les plantes es tractaran amb biofiltre.

- Tractament d'aigües residuals del procés: Wehrle utilitza la seva tecnologia pròpia de tractament d'aigües residuals mitjançant nitrificació i desnitrificació a un bioreactor de membrana (Biomembrat®) o SBR (*Sequencing Batch Reactor*) per a reduir la càrrega orgànica i els compostos de nitrogen.

  Els rendiments del SBR a la planta de Kahlenberg (Alemanya) són els següents:

Paràmetres	Entrada al tractament	Sortida del tractament
DBO_5, (mg O_2/l)	3.000	< 10
DQO, (mg O_2/l)	8.000	< 1.000
$N\text{-}NH_4$, (mg/l)	1.500	< 20

Font: Wehrle Umwelt GmbH

Taula 29. Rendiments del sistema de tractament d'aigües residuals (SBR) a la Planta de demostració de Kahlenberg (Alemanya)

- Ocupació d'espai i impacte visual: L'ocupació d'espai per una planta tipus de 30.000 i 80.000 t RESTA/any per a la producció de CDR es presenta a la taula següent:

Capacitat	Etapa	Unitat	30.000 t RESTA/any	80.000 t RESTA/any
Superfície ocupada per la Planta	Pretractament	m^2	800	1.500
	Percolació		800	1.800
	Digestió anaeròbia / Utilització biogàs		250	600
	Túnels		900	1.800

Font: Wehrle Umwelt GmbH

Taula 30. Ocupació d'espai del procés TMB de Wehrle per una planta tipus de 30.000 t i 80.000 t per any de RESTA

Amb això, es pot estimar un rati d'ocupació d'espai de 0.09 m^2 / t/any.

En cas de que el procés es configuri per a produir un bioestabilitzat amb destí a dipòsit controlat, segons els requeriments de la normativa alemanya, seria necessària una superfície significativament superior per implementar les instal·lacions de compostatge i maduració. En aquest cas, es requeririen uns 10-20 m^2 addicionals per cada 1.000 tones de residus a tractar, estimant-ne un rati d'ocupació d'espai de 0.11 m^2/t/any. Això és encara inferior als sistemes convencionals de compostatge, que tenen unes necessitats d'espai fins a 0.3 m^2/t/any incloent el pretractament del residu i la maduració del compost.

El principal impacte visual vendria donat pels elements de major alçada, els digestors. La torxa de biogàs podria presentar potencial un impacte visual significatiu, depenent del tipus de torxa (oberta o tancada), alçada i freqüència d'ús.

3.1.15.5. Costos.

Els costos d'inversió i d'operació facilitats per Wehrle per una planta tipus de 30.000 t i 80.000 t per any de RESTA es presenten a la taula següent.

Capacitat de tractament			**30.000 t/a**	**80.000 t/a**
Inversió	Instal·lació clau en mà			
		€	8.300.000	16.000.000
	Pretractament, percolació, digestió anaeròbica, cogeneració, assecat biològic (túnels), planta de tractament d'aigües residuals i aire excés			
	Estimació de l'obra civil	€	2.200.000	4.200.000
Personal necessari per a operar la Planta		Nombre	unes 7 persones	unes 12 persones
Costos específics d'operació	Compren: costos de consumibles per al Biopercolat i el tractament de les aigües excés i costos de manteniment	€/t	12,8	10,70

Font: Wehrle Umwelt GmbH

Taula 31. Costos operatius d'inversió i operació del procés Biopercolat de Wehrle. Capacitats 30.000 i 80.000 t/any

3.1.15.6. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
2000	Kahlenberg, Alemanya	20.000	RM
2006	Kahlenberg, Alemanya	120.000 (ampliació)*	RM

* La posta en marxa de la instal·lació es preveu per juny 2006.

Taula 32. Referències de Wehrle Umwelt amb el procés Biopercolat

3.1.15.7. Resum. Conclusions.

- El procés TMB de Wehrle ha operat a una planta de demostració de 20.000 t/any de RM a Alemanya durant un període de 3 anys. En aquest període la planta ha demostrat el procés per tractar RM en massa.

- Wehrle subministra una configuració integral, que pot optimitzar-se per a la producció de biogàs i CDR o biogàs i bioestabilitzat.

- Si bé el procés de percolació es presenta com una alternativa prometedora per a la digestió de RESTA i/o RM en massa, caldrà esperar als resultats de la posta en servei de la seva planta a escala comercial a Kahlenberg (Alemanya) per a demostrar els rendiments i disponibilitat del procés, i fonamentar la confiança en el mateix.

3.2. Tecnologies de compostatge / estabilització aeròbia / "biosecat".

Al següent capítol es descriuen els principals sistemes de compostatge o estabilització aeròbia i secat biològic aerobi o biosecat[25] analitzats.

Els processos de compostatge que s'analitzen al present apartat són:

- Compostatge en piles.
- Túnels de compostatge.
- Tambors de compostatge.
- Naus tancades amb volteig automàtic.
- Trinxeres.

Les tecnologies de compostatge tancat han tingut un important creixement els últims anys degut sobretot als exigents requeriments legislatius existents sobre la qualitat del compost i mediambientals que obliguen a un estricte control sobre paràmetres de procés i la quantitat de contaminants al compost, l'absència d'olors, el grau d'acabat del material, etc..

L'evolució dels sistemes de compostatge a sistemes tancats ha representat un avanç molt important en aquest tipus de tractaments, tant des del punt de vista de procés com per la qualitat del producte final, afavorint l'ús del compostatge com a tecnologia moderna de tractament de la matèria orgànica dels residus municipals.

[25] Aquests processos s'analitzen amb detall a l'anàlisi de tecnòlegs (veure *Herhof* i *Ecodeco*).

Els processos en túnels o en tambor són processos modulars que permeten ampliar la capacitat de tractament, afegint les unitats de tractament necessàries. Als sistemes tancats, és possible tractar les olors produïdes per una eventual descomposició anaeròbia de la mateixa forma que es millora el control de procés.

Les variables de procés, així com el contingut de la humitat, composició de nutrients, temperatura, pH, quantitat de gas, temps de retenció, etc., poden ser controlades, dirigides i optimitzades. Això comporta una degradació més ràpida i complerta amb una minimització de la contaminació de l'entorn de les instal·lacions.

3.2.1. Compostatge en piles.

La tecnologia per a compostatge en piles és relativament simple, és el sistema més econòmic i el més utilitzat, sobretot en plantes amb petites capacitats de tractament (per sota de 10.000 t/any aproximadament).

En aquest sistema, el materials s'apilen sobre paviment, sense comprimir-los en excés, sent molt important la forma i mesura de la pila.

Les mesures òptimes de les piles oscil·len entre 1,2-2 metres d'alçada, per 2-4 metres d'amplada, sent la longitud variable. La secció tendeix a ser trapezoïdal, encara que a les zones molt plujoses serà semicircular per afavorir el drenatge de l'aigua.

Les piles són ventilades per convecció natural, encara que poden implementar-se sistemes de ventilació forçada. L'aire calent que puja des del centre de la pila crea un buit parcial que aspira l'aire dels costats. La forma i la grandària òptima de la pila depèn de la grandària de la partícula, contingut de la humitat, porositat i nivell de descomposició, el qual afecta el moviment de l'aire fins al centre de la pila.

Font: Backhus

Figura 75. Voltejadores en piles

La grandària i forma de les piles és dissenyen per permetre la circulació de l'aire al llarg de la pila, mantenint les temperatures en el rang apropiat.

Si les piles són massa grans, l'oxigen no pot distribuir-se adequadament al centre, mentre que si són massa petites, no s'autoescalfaran adequadament. La grandària òptima varia en funció del tipus de material i temperatura ambient.

Una vegada constituïda la pila, la gestió principal és el volteig o barreja amb una màquina adequada (pala carregadora o voltejadora).

La freqüència de volteig o barreja depèn del tipus de material, de la humitat i de la rapidesa amb la que desitgem realitzar el procés, sent habitual realitzar un volteig cada 6-10 dies.

Els voltejos serveixen per homogeneïtzar la barreja i la seva temperatura, amb la finalitat d'eliminar l'excés de calor, controlar la humitat i augmentar la porositat de la pila per millorar la ventilació. Després de cada volteig, la temperatura descendeix de l'ordre de 5 o 10 ºC, pujant novament en cas que el procés no hagi acabat.

Normalment es realitzen controls, de forma manual, de temperatura, humitat i oxigen per determinar el moment òptim per efectuar el volteig.

El compostatge en piles és un procés molt versàtil i senzill. S'ha utilitzat amb èxit per compostar fem, restes de poda, fangs i RM. El procés aconsegueix bons resultats amb una àmplia varietat de residus orgànics i funciona satisfactòriament mentre que es mantinguin les condicions anaeròbies i el contingut d'humitat.

Els costats de les piles poden ser tant verticals com ho permeti el material acumulat, que normalment condueix a piles sobre dos vegades més amples que altes.

Actualment es tendeix a realitzar aquest tipus de procés en naus cobertes però no tancades, per evitar que la pluja afecti al procés i s'uneixi als lixiviats i així controlar millor la humitat de la pila.

La duració del procés és d'uns tres o quatre mesos.

El principal inconvenient d'aquest procés és la possible generació de pudors, que depèn del residu a tractar i de la operació de la instal·lació. Per aquest motiu, als últims anys es tendeix cada vegada més a sistemes de compostatge tancats, al menys a les primeres etapes del mateix.
Un altre inconvenient del sistema és que els treballadors estan en contacte amb el residu abans de que aquest hagi estat higienitzat, amb el que existeixen riscos de contagis.

Donada la seva simplicitat, el factor humà afecta més als resultats del mateix, tenint molta incidència en la operativitat de la instal·lació.

Als últims anys, aquest procés es va utilitzant com a complement de sistemes tancats de compostatge, sobretot a l'etapa de maduració (una vegada que el material ja està higienitzat).

3.2.2. Túnels de compostatge.

El procés de compostatge es desenvolupa en túnels, sent aquests elements unes construccions realitzades en formigó de planta rectangular i una alçada aproximada de 5 metres, a on s'introdueix el material a compostar fins una alçada màxima aproximada de 2,5 metres.

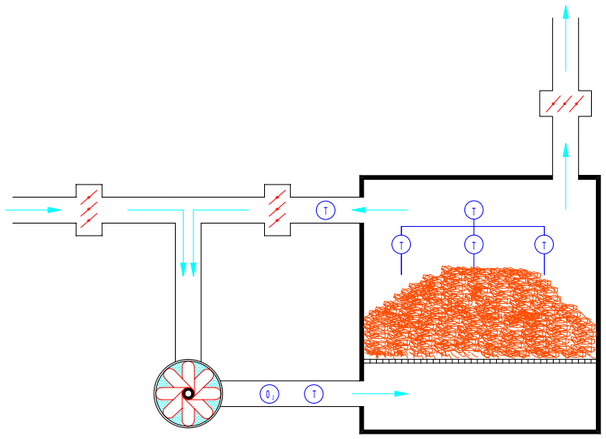


Figura 76. Esquema túnel compostatge

Els túnels poden ser estàtics o dinàmics, sent aquests últims completament automàtics en la seva càrrega, volteig i descàrrega. Els túnels dinàmics, solen aplicar-se per a grans capacitats de tractament.

Als túnels estàtics, la càrrega i descàrrega del material es realitza mitjançant una pala carregadora. Durant el procés de compostatge és necessari extraure el material dels túnels per a procedir a remoure'l i millorar així el procés de compostatge evitant p.e. la formació de bosses de fermentació anaeròbia.

Una vegada al interior del túnel, aquest es tanca i comença el procés d'aireació fins aconseguir la maduresa del producte requerit. Degut a que el procés d'aireació es realitza a tota la llargària del túnel, existeix una certa limitació en quant a la longitud total del mateix, degut a les pèrdues de càrrega que es produeixen. Les longituds màximes s'estableixen al voltant dels 35 metres.

Quan ha acabat el procés de compostatge, s'extrau el material del interior del túnel mitjançant una pala carregadora i es dirigeix al procés d'afí de compost.

Tot l'aire extret de l'aireació, així com de renovació de les naus de compostatge, es capta i tracta a un sistema de depuració d'olors.

El sistema de túnels per a petites capacitats de tractament es sol utilitzar combinat amb el de les piles a la zona de maduració.

Els principals avantatges del sistema són que el residu no està en contacte amb els treballadors, millorant així les condicions de seguretat i salut.

El sistema és modular i molt flexible i versàtil, encara que té un consum elèctric major que els tambors de compostatge.

El principal inconvenient en el cas dels túnels estàtics (utilitzats per baixes capacitats) és que el residu no es mou ni s'homogeneïtza al interior del túnel requerint-se, per tant, equips addicionals de barreja amb el material vegetal.

A més dels avantatges del confinament d'olors i lixiviats assolits als túnels estàtics tradicionals, els túnels dinàmics permeten a més un major control dels processos de fermentació mitjançant el volteig i eviten la manipulació humana als processos de càrrega i descàrrega, processos que es donen sempre en unes condicions de treball poc salubres.

Els túnels dinàmics presenten com a inconvenient un relativament elevat cost d'inversió, operació i necessitats de manteniment.

3.2.3. Tambors de compostatge.

El procés de compostatge té lloc a un tambor de rotació lenta. Aquests equips poden treballar en continu o per càrregues i són de diferents grandàries i formes. Estan construïts

en acer i la majoria d'ells incorporen aïllament tèrmic, principalment, als països centreeuropeus i nòrdics.

El residu orgànic, si no arriba en bosses, es diposita mitjançant una pala carregadora, sense més preparació, directament a l'alimentador dels tambors de compostatge.

L'alimentació del residu i la seva distribució dintre del tambor es realitza de manera totalment automàtica.

Donat que la barreja es realitza al interior del tambor, es pot afegir al mateix el material vegetal necessari, el qual és funció sobretot del grau d'humitat de la matèria orgànica a tractar.

El procés de descomposició té lloc dins del tambor de compostatge. Gràcies a la rotació intermitent del tambor, el material és barrejat, homogeneïtzat i desfibrat de forma selectiva.

Font: Ros Roca

Figura 77. Tambors de compostatge

Les emissions d'olor i composts volàtils són més elevades al principi de la descomposició i són extretes pel sistema de ventilació del tambor i dirigides a un biofiltre. El lixiviat dels residus, alliberat durant la transformació de les substàncies orgàniques, es manté al interior del tambor mitjançant la rotació intermitent del mateix.

Per aquest motiu és important aconseguir una barreja adequada amb el material vegetal estructurant per a que el residu no es compacti massa al interior del tambor.

Al final del cicle, el material disposa d'un òptim grau d'homogeneïtzació, no té cap olor desagradable, i té un contingut òptim d'humitat per l'eliminació de contaminants i pel compostatge secundari.

En realitat és un procés de precompostatge o un pretractament que facilita la separació dels contaminants de la fracció orgànica i que és complementat amb un procés posterior de maduració, generalment, en piles.

Els principals avantatges del sistema són que el residu no està en contacte amb els treballadors millorant així les condicions de seguretat i salut així com la gran homogeneïtzació del material a compostar.

El sistema és modular i molt flexible i versàtil i té un consum elèctric relativament baix.

El principal inconvenient és la inversió que resulta superior als altres tipus de sistemes tancats, sent adequat per petites capacitats de tractament.

3.2.4. Compostatge en nau tancada amb volteig automàtic.

El procés de compostatge té lloc en una nau tancada. La ventilació es realitza mitjançant una placa a la base i/o amb ajuda de diferents tipus d'unitats rotatives (voltejadores) completament automatitzades. Les plantes modernes estan totalment automatitzades i equipades amb voltejadores, les quals es mouen per mitjà de grues elevadores i poden arribar al compostatge total de l'àrea de la nau.

El procés de compostatge es desenvolupa al interior d'una nau tancada a on es diposita el residu i material estructural formant un altiplà amb una alçada màxima de 2,5 metres.

Una voltejadora muntada sobre un pont grua s'encarrega de fer avançar i voltejar el material fins que acompleix el temps de permanència previst a la nau de compostatge, moment en el qual s'extrau mitjançant un sistema de cintes transportadores.

El procés de repartiment del material, moviment i avanç del material a compostar realitza habitualment amb una *rotopala* o voltejadora sobre pont-grua de manera completament automàtica, encara que pugui realitzar-se també mitjançant cargols o altres mecanismes similars.

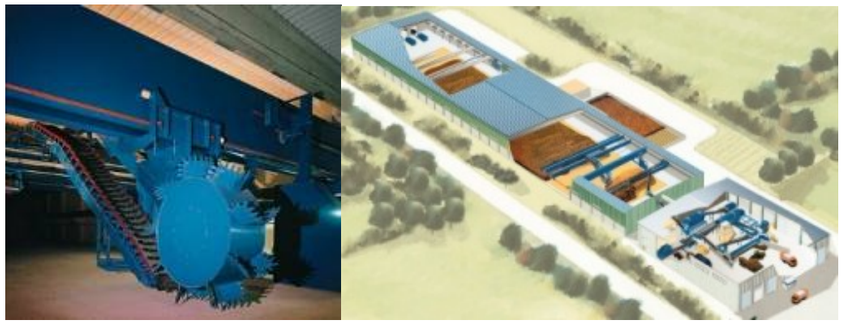


Figura 78. Voltejadora sobre carro, detall i esquema

A les primeres etapes del procés, el material a més és airejat mitjançant ventiladors que usualment aspiren aire de la nau i el fan passar a través del material a compostar.

El procés és completament automàtic, en l'avanç del material, el control dels paràmetres de procés (control de temperatura i oxigen) i el sistema d'injecció d'aigua i recollida de lixiviats.

Tot l'aire extret del procés, així com de renovació de la nau de compostatge és captat i tractat en un sistema de depuració d'olors.

Aquest sistema va ser desenvolupat per elevades capacitats de tractament.

3.2.5. Estabilització en trinxeres.

L'estabilització en trinxeres es tracta d'un sistema tancat de compostatge amb control de la injecció i extracció d'aire i lixiviats.

Es tracta d'un sistema dinàmic de compostatge amb aireació amb voltejadores.

El consum elèctric és relativament baix: com a conseqüència del volteig intensiu la necessitat d'aireació mitjançant ventiladors és menor respecte a altres sistemes i, per tant, és menor el consum elèctric.

La voltejadora és, normalment, elèctrica de banda metàl·lica.

Cada voltejadora (2 equips) està constituïda essencialment per un carro principal que es desplaça sobre rails situats sobre la superfície dels murs de formigó, que divideixen l'àrea d'estabilització en trinxeres per a l'acumulació del material en fermentació. Sobre aquest carro ve muntada una banda metàl·lica abatible que realitza el fresat del cúmul des de la zona final de descàrrega fins la zona inicial de càrrega de cada trinxera. Aquesta operació permet la translació del producte fins a la sortida i la completa oxigenació i barreja dels materials.

La voltejadora disgrega, volteja i transfereix els residus mitjançant l'acció de rascat i vibració de les dents cargolades a l'elevador, inclús en condicions d'elevada humitat dels materials, permetent un complert barrejat i oxidació per a activar el procés biològic necessari per a l'estabilització.

Aquestes dents estan dotades a la zona de contacte amb el material d'un recobriment de material dur anti-abrassiu amb perfil arrodonit per a desxifrar i no tallar. La màquina ataca el material des de la base del cúmul o transportant-lo a la part posterior. El sistema permet una bona auto-neteja donada la gran força centrífuga exercida per la cinta.

El carro auxiliar, situat a l'inici i desplaçable en direcció perpendicular a les trinxeres, permet el desplaçament de la voltejadora d'una trinxera a una altra. A l'interior del carro va muntada una tremuja, que permet llançar el producte madur des de la voltejadora a una cinta per a la seva evacuació definitiva de la zona d'estabilització.

Les trinxeres es ventilen injectant aire a través d'unes canaletes prefabricades situades al paviment. El control del procés es realitza ajustant la quantitat d'aire subministrada a cada sector de les trinxeres.

La translació longitudinal de la voltejadora es realitza mitjançant rodes motrius col·locades sobre rails. La velocitat de translació es pot variar electrònicament regulada per un operari.

3.2.6. Comparativa de tecnologies de compostatge.

Es presenten a continuació diversos paràmetres comparatius de les diferents tecnologies de compostatge analitzades.

3.2.6.1. Modularitat.

Les tecnologies de tambors, túnels i trinxeres tenen un grau major de modularitat degut a que l'ampliació resulta més senzilla afegint nous elements de compostatge (tambors o túnels).

En el cas dels tambors, el sistema és més modular que els túnels i les trinxeres ja que únicament s'ha de preveure l'espai per nous elements havent de realitzar mínimes actuacions en obra civil (fonamentacions). El principal inconvenient dels tambors és la inversió que resulta superior als altres sistemes tancats, sent adequat per petites capacitats de tractament.

Per als túnels en cas d'ampliació, han de realitzar-se un gran nombre d'actuacions d'obra civil donat que el túnel està fabricat en formigó.

Tanmateix, en el cas de les trinxeres, s'ha d'ampliar la nau on estan situades.

Per a les piles, la ampliació es realitza augmentat la superfície de compostatge. Normalment durant el disseny es sobredimensiona la superfície de volteig per tenir una reserva en cas d'ampliació de la capacitat.

No obstant això, la superfície ocupada amb aquesta tecnologia és significativament superior a les anteriorment esmentades, amb el que és un factor limitant al disseny de les instal·lacions.

3.2.6.2. Flexibilitat.

Respecte a l'adaptabilitat dels processos a variacions estacionals i modificacions d'operació, les diferents tecnologies són equivalents, exceptuant els sistemes estàtics (túnels) que tenen una menor flexibilitat en quant a la composició dels residus ja que aquests no s'homogeneïtzen durant el procés.

En quant a la seva adaptabilitat al tipus de residu, el sistema de tambors té l'avantatge de que homogeneïtza millor els residus.

La principal limitació dels tambors és que ha de cuidar-se bé la barreja dels residus per evitar que un alt contingut d'humitat pugui ocasionar anaerobiòsi al seu interior, sent aquest aspecte més sensible respecte a les altres tecnologies analitzades.

Una planta que treballi amb el sistema de piles requereix, per arribar a la mateixa flexibilitat que les altres tecnologies, una gran intervenció dels operaris de la planta.

3.2.6.3. Senzillesa d'operació.

Les diferents tecnologies analitzades són senzilles d'operació. Destaca en aquest aspecte la de piles, sobretot perquè la baixa automatització del procés, basat fonamentalment en el volteig de les piles.

Les tecnologies de tambors i túnels són equivalents en quant a complexitat d'operació, degut a la senzillesa que les caracteritza.

En el cas de les tecnologies de trinxeres i voltejadora sobre carro, si bé l'operació no és especialment complicada, el manteniment i les operacions de neteja són molt importants.

3.2.6.4. Consum d'energia.

El sistema de piles no té pràcticament cap consum elèctric associat al procés de compostatge, encara que les piles estiguin airejades mitjançant ventilació forçada. Fins i tot en aquesta situació, el consum elèctric és molt inferior al de les altres tecnologies.

No obstant, tenen un consum superior de gasoil que les altres tecnologies, ja que tot el procés es porta a terme mitjançant equips mòbils.

Els tambors de compostatge tenen un consum inferior respecte als túnels degut a que és necessària menys aireació de la massa a compostar.

3.2.6.5. Personal necessari.

Els processos de piles i túnels (estàtics) tenen uns requeriments de personal molt similars, degut fonamentalment a les operacions de tràfec de material i barreja amb la fracció vegetal, que requereixen de la presència de personal d'operació.

En el cas dels túnels dinàmics, les trinxeres i la voltejadora sobre carro amb sistema de càrrega, descàrrega i volteig automàtic, les necessitats de personal d'operació són més reduïdes però cal senyalar que tenen majors necessitats de manteniment.

En el cas dels tambors, les necessitats de personal es redueixen degut a que el propi tambor realitza la funció de barreja. Addicionalment, el personal de càrrega del tambor pot

realitzar altres tasques quan no s'està carregant el tambor, així com volteigs a la zona de maduració, extracció d'impureses, etc.

3.2.6.6. Control d'olors.

Les tecnologies tancades de compostatge (tambors, túnels i trinxeres nau tancada amb voltejadora sobre carro) permeten realitzar una depuració de les pudors al poder captar l'aire a tractar.

El cabal a tractar en el cas de tambors és menor que en el cas dels túnels i major en el cas de naus tancades i de trinxeres.

El control d'olors en la tecnologia de piles depèn fonamentalment d'una correcta explotació de la instal·lació i, per tant, té majors riscs en la formació de pudors.

3.2.6.7. Seguretat i salut.

Els sistemes que impliquen un major contacte dels treballadors amb el material a compostar, o impliquen una major presència de personal en operacions de barreja, o el tràfec de material tenen un major risc per la seguretat i salut del personal.

En el cas de piles, el operari està en contacte amb el material durant tot el procés i a més ha d'implicar-se en el tràfec, barreja i volteig.

En el cas dels túnels es minimitza aquest impacte degut a que la primera etapa del compostatge està tancada. No obstant això, té una major presència de l'operari en tasques prèvies com la barreja.

Els tambors, les trinxeres i la voltejadora sobre carro, minimitzen els riscos degut a la pròpia automatització del sistema, sobretot en el procés de barreja i descàrrega.

3.2.6.8. Qualitat del compost.

El principal factor en la qualitat del compost és el material d'entrada, així doncs, a menor presència de contaminants, millor qualitat del compost.

A igualtat de qualitat del material d'entrada, el tipus de tecnologia influeix en la qualitat del compost final, de tal manera que aquells sistemes que homogeneïtzen el residu i permeten una millor i més fàcil separació d'impureses milloren la qualitat final.

En aquest sentit, les tecnologies dinàmiques (tambors, túnels dinàmics, trinxeres, nau tancada amb voltejadora sobre carro) tenen un major grau d'homogeneïtzació del material. Donat que la descàrrega de material dels mateixos és automàtica, permet implementar de manera senzilla sistemes d'extracció de contaminants.

El sistema de túnels (estàtic) té uns alts requeriments en la barreja de material previ.

En el cas de piles, si bé tot el procés és dinàmic degut al volteig, és més complicat introduir sistemes que permetin l'extracció d'impureses al mig del procés que impedeixin el pas de contaminants al compost.

3.2.6.9. Inversió.

El sistema de piles, degut a la seva senzillesa, és el sistema amb menor inversió.

Els tambors són el sistema amb una major inversió per tona tractada comparativament amb la resta de tecnologies.

3.2.6.10. Duració del procés.

Els processos a on existeix una etapa de compostatge intensiu (tambors, túnels de compostatge i naus tancades amb volteig automàtic) aconsegueixen reduir el temps total del procés ja que acceleren la primera part del mateix.

La duració als processos analitzats per obtenir un compost completament madurat seria aproximadament:

- Piles ..... 14 - 16 setmanes
- Túnels de compostatge ..... 2 setmanes en túnel + 10 setmanes maduració
- Tambors de compostatge ..... 1 setmana en tambor + 11 setmanes maduració
- Naus de compostatge amb volteig automàtic ..... 6 a 8 setmanes en nau + 3 setmanes maduració
- Trinxeres ..... 2 a 6 setmanes en nau + 4-8 setmanes maduració

3.2.6.11. Referències.

El sistema de piles té nombroses referències al mercat, tantes com voltejadores existents.

Alguns dels principals subministradors de voltejadores són:

- Allu
- Backhus
- Doppstadt
- Jenz
- Topturn
- Willinband

La tecnologia de tambors és, de les analitzades, la que menys referències té al mercat. Alguns dels principals subministradors són:

- American Bio Tech
- Ros Roca
- Rumen Oy
- Transform Compost System

El sistema de túnels té nombroses referències al mercat, inclòs amb subministradors espanyols. Alguns dels principals subministradors són:

- Gicom
- Masias (Horstmann/WTT)
- Metrocompost
- Ros Roca
- Schwarting Umwelt
- Linde

Algunes tecnologies de túnels s'han adaptat per al secat biològic o biosecat dels residus. Alguns dels principals subministradors són:

- Ecodeco
- Herhof
- Gicom

Alguns dels principals subministradors de sistemes de compostatge o estabilització amb nau tancada amb volteig automàtic són:

- VKW
- Weser Engineering
- SCT Sorain Cecchini

Alguns subministradors de trinxeres són els següents:

- Backhus.
- CRAI (representat per TARSUS).
- TAR.

A continuació es presenta una descripció de tecnòlegs (selecció).

3.2.7. VKW.

3.2.7.1. Introducció.

VKW Anlagenbau und Umwelttechnik GmbH & CO KG és 100% filial de Vorarlberger Kraftwerke AG (VKW AG), productor i subministrador de l'electricitat a la província. VKW AG va decidir a l'any 1996 diversificar en una industria de residus i assumir el control de l'enginyeria Vogel & Müller (anteriorment anomenada VKW ANLAGENBAU UND UMWELTTECHNIK GMBH).

A l'any 1998 VKW AG va expandir el seu camp d'activitats una altra vegada, la major empresa de residus regional, Hubert Häusle, amb un servei en tot una àrea d'aproximadament 200.000 habitants, es converteix 100% filial.

A l'any 2001, VKW AG va aconseguir una xifra anual entorn als 241 milions d'euros en el negoci de l'electricitat, i aproximadament tenia 720 empleats.

L'1 de Gener de 2001, VKW AG va dirigir Vorarlberger Illwerke AG juntament amb la segona companyia d'electricitat de la província, per a consolidar junts la seva posició al mercat liberalitzat de l'electricitat.

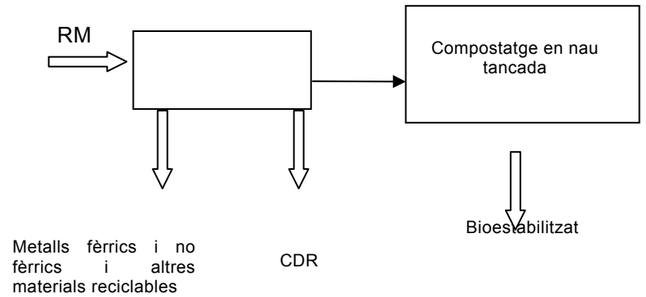
L'abast de serveis de VKW va des del subministrament d'equips individuals a plantes complertes, concretament:

- Combinació de plantes de fermentació i compostatge.
- Plantes de tractament mecànic – biològic.
- KUM: tecnologia de compostatge en nau tancada amb voltejadora automàtica (*rotopala*).
- KoRa: sistema de túnel amb voltejadora automàtica.
- Depuració de l'aire de procés.

3.2.7.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés TMB de VKW és un procés d'estabilització basat en un compostatge en nau tancada amb voltejadora automàtica (*rotopala*).

Al procés un bioestabilitzat que s'utilitza com esmena orgànica s'envia a dipòsit controlat.



Font: VKW

3.2.7.3. Descripció del procés.

Preparació del residu.

Les plantes TMB amb la tecnologia de compostatge de VKW, tenen un equipament de preparació mecànica dels residus subministrat per altres empreses. VKW encara no ha subministrat cap planta TMB "claus en mà", però han comercialitzat un triturador rotatiu de 4 eixos nomenat "Kompomax" que pot emprar-se per a la preparació del residu abans del compostatge.

Font: VKW

Figura 79. "Kompomax". Vista interior

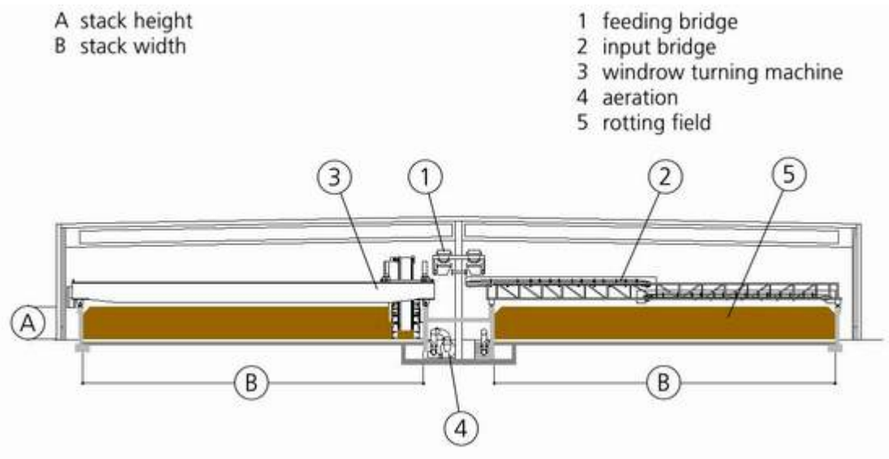
El material d'entrada al procés s'ha de garbellar per a extreure els materials de més de 100 mm. Els metalls, plàstics i inerts es recuperen d'aquesta corrent abans de l'etapa de compostatge.

Compostatge.

El material a compostar és carregat amb piles amb sols airejats i situats al interior d'una nau tancada.

A les plantes de VKW a Itàlia o Istambul (Turquia), el procés dura unes 4-6 setmanes (mentre que a les plantes a Alemanya es requereixen unes 8 setmanes per a bioestabilitzar el residu d'acord als límits de respirometria fixats a la normativa alemanya) i finalment unes 3 setmanes de maduració del compost.

El compost es volteja automàticament mitjançant el sistema "KUM" de VKW, que és essencialment una roda amb culleres i un sistema de transport, que incorpora un sistema de rec del compost que travessa cada mòdul de compostatge unes 5 vegades durant el cicle inicial de 4-6 setmanes.



Font: VKW

Figura 80. VKW. Sistema "KUM"

VKW comercialitza el sistema "KUM" amb tres grandàries diferents per la maquinària de volteig "KUM 250", "KUM 300" i "KUM 350" per alçades de la pila de 2,5 m, 3 m i 3,5 m respectivament.

Font: VKW

Figura 81. Planta de Istambul (Turquia). Sistema "KUM"

El cabal d'aireació de les piles es controla per a cada mòdul (àrea) de compostatge considerant la respirometria i temperatura d'aquestes.

El volum d'aire de sortida del procés es controla automàticament a cada mòdul a partir de la temperatura de les piles de manera que es mantingui un perfil adequat de temperatura a aquestes.

Els lixiviats del procés de compostatge es recullen i recirculen com aigua de procés. Els gasos generats durant el procés de compostatge es capten per un sistema d'aspiració i s'envien cap a un sistema de *scrubber* i biofiltre.

3.2.7.4. Avantatges i inconvenients.

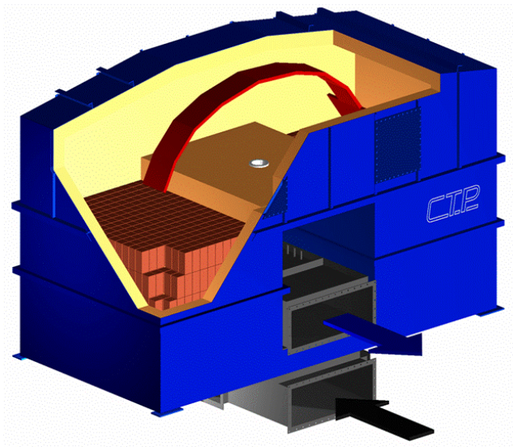
Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per RM en massa. – Procés desenvolupat per grans capacitats de tractament. Disposa de referències de plantes TMB fins a 270.000 t/any. – Procés d'implementació relativament simple.	– Procés netament deficitari d'energia.

3.2.7.5. Impactes ambientals.

– Sistema de tractament de l'aire: VKW pot subministrar diferents sistemes de tractament de l'aire segons els requeriments específics.

  Aquests sistemes poden ser de "scrubbing" o rentat (a contracorrent, bioscrubber o ionització), biofiltres (de superfície oberta, superfície tancada, contenidors o combinació de rentat i biofiltre) i Oxidació Tèrmica Regenerativa (OTR).

  En el cas de l'Oxidació Tèrmica Regenerativa, VKW utilitza el sistema AUTOTHERM de l'empresa austríaca CTP amb la que té un acord de col·laboració. Aquest sistema utilitza com a element d'intercanvi de calor un material ceràmic patentat per CTP del tipus cel·la d'abella ("honeycomb") que presenta un elevat rendiment de recuperació de calor.



Font: CTP

Figura 82. Esquema del sistema d'Oxidació Tèrmica Regenerativa AUTOTHERM de CTP.

- Tractament d'aigües residuals del procés: El procés és netament deficitari d'aigua. Tots els lixiviats generats es reutilitzen com aigua de procés. Al procés s'afegeix una quantitat significativa d'aigua (aprox. 40% depenent de la humitat del residu d'entrada) i el bioestabilitzat de sortida conté aprox. un 40% d'humitat.

3.2.7.6. Referències.

Les referències de VKW per instal·lacions TMB per al tractament de RM són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)[2]	Tipus de residu	Abast del subministrament
2001	Caivano, Itàlia	270.000	RM en massa	Sistema KUM[1]
2001	Estambul, Turquia	150.000	RM en massa	Sistema KUM Procés de compostatge
2001	Santa Maria, Itàlia	135.000	RM en massa	Sistema KUM
2002	Giugliano, Itàlia	135.000	RM en massa	Sistema KUM
2002	Tufino, Itàlia	135.000	RM en massa	Sistema KUM
2003	Battipaglia, Itàlia	135.000	RM en massa	Sistema KUM
2005	Buchen, Alemanya	110.000	Residus del procés de percolació d'ISKA	Sistema KUM. Procés de compostatge
2005	Heilbronn, Alemanya	60.000	Residus del procés de percolació de ISKA	Sistema KUM. Procés de compostatge

(1) Sistema de volteig automàtic
(2) A cada planta aproximadament un 50% del residu d'entrada s'envia al procés de compostatge.

Taula 33. Referències de plantes de TMB de VKW

Les referències de VKW per instal·lacions de compostatge per al tractament de FORM són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
1983	Lustenao, Àustria	20.000	FORM
1995	Linz, Àustria	22.000	FORM
1996	Zell am See, Àustria	20.000	6.000 FORM 14.000 RM
2000	Hanover, Alemanya	40.000	FORM

Taula 34. Referències de plantes de compostatge de FORM de VKW

3.2.7.7. Resum. Conclusions.

- A diferència d'altres subministradors de TMB´s, VKW forma part d'una empresa energètica austríaca Vorarlberger Kraftewerke, que podria aportar recursos, d'enginyeria i financers en la implementació de projectes.

- VKW té una amplia experiència en el subministrament de plantes de compostatge de gran capacitat integrades a algunes de les plantes de TMB en operació amb major capacitat.

- VKW ha actuat com contractista general a les plantes TMB a Alemanya (Buchen i Heilbronn) fent un subministrament del tipus "claus en mà".

3.2.8. WESER ENGINEERING.

3.2.8.1. Introducció.

Weser Engineering va ser fundada l'any 1988 per enginyers de l'antiga PHB Weserhütte, a Bad Oeynhausen (Alemanya).

Els sectors de negoci de Weser Engineering comprenen la planificació, construcció, subministrament i muntatge de sistemes "claus en mà", parts de plantes i màquines individuals en el sector de tractament de residus, plantes de compostatge i tractament mecànic-biològic.

Weser Engineering pertany des de començaments de l'any 2001 a l'empresa espanyola, IZAR.

IZAR pertany al grup d'empreses líders a nivell mundial en el sector naval, fabricació de turbines, fabricació de parcs eòlics i plantes de biomassa.

3.2.8.2. Descripció general de la tecnologia.

Weser Engineering subministra plantes "claus en mà", parts o equipament individual per al compostatge o estabilització aeròbia de residus amb túnels o a nau tancada amb voltejadora automàtica.

Font: Weser Engineering

Figura 83. Esquema general planta de compostatge de Weser Engineering

Font: Weser Engineering

Figura 84. Màquina de volteig automàtic a una planta de tractament de digestat (Weser Engineering).

3.2.8.3. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per RM en massa. – Procés desenvolupat per grans capacitats de tractament. – Procés d'implementació relativament simple.	– Procés netament deficitari d'energia.

3.2.8.4. Referències.

Les referències (selecció) de Weser Engineering per instal·lacions compostatge i tractament mecànic-biològic amb nau tancada amb volteig automàtic són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
1996	Hildesheim, Alemanya	35.000	Residus orgànics
2002	Meruelo, Espanya	110.000	RM
2005	Hannover, Alemanya	120.000	RM
2006	Palermo, Itàlia	200.000	RM

Taula 35. Referències (selecció) de Weser Engineering a instal·lacions de compostatge i tractament mecànic-biològic

3.2.8.5. Resum. Conclusions.

– Weser Engineering té experiència en el subministrament de plantes de compostatge de RM de gran capacitat de tractament integrades a plantes TMB.

3.2.9. SUTCO.

3.2.9.1. Introducció.

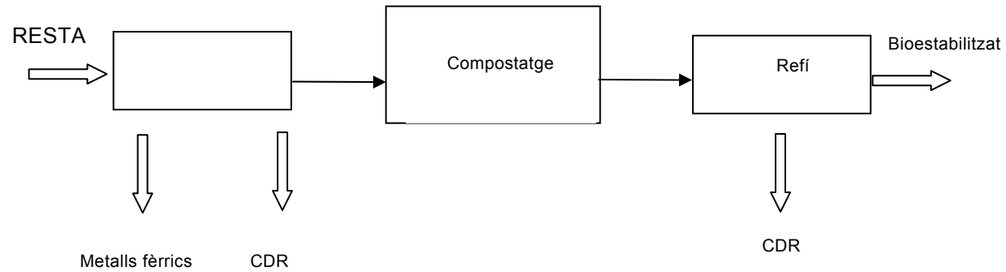
Sutco Maschinenbau GmbH va fundar-se l'any 1985. A l'any 2003, la companyia juntament amb la subsidiària polonesa Sutco Polska i Sutco Biuro Inzynierskie, van ser adquirides per Ludden & Mennekes Entsorgungs-Systeme GmbH i després Sutco es va vendre a RWE Umwelt AG.

Sutco és ben coneguda pel disseny i construcció d'equips per classificació, separació i refí de residus. Sutco ha subministrat equipament per al pretractament i post-tractament per a nombroses plantes TMB subministrades per d'altres.

Sutco comercialitza un procés TMB basat en compostatge. El procés de compostatge és coneix com "Biofix" i es realitza en trinxeres.

3.2.9.2. Descripció general de la tecnologia.

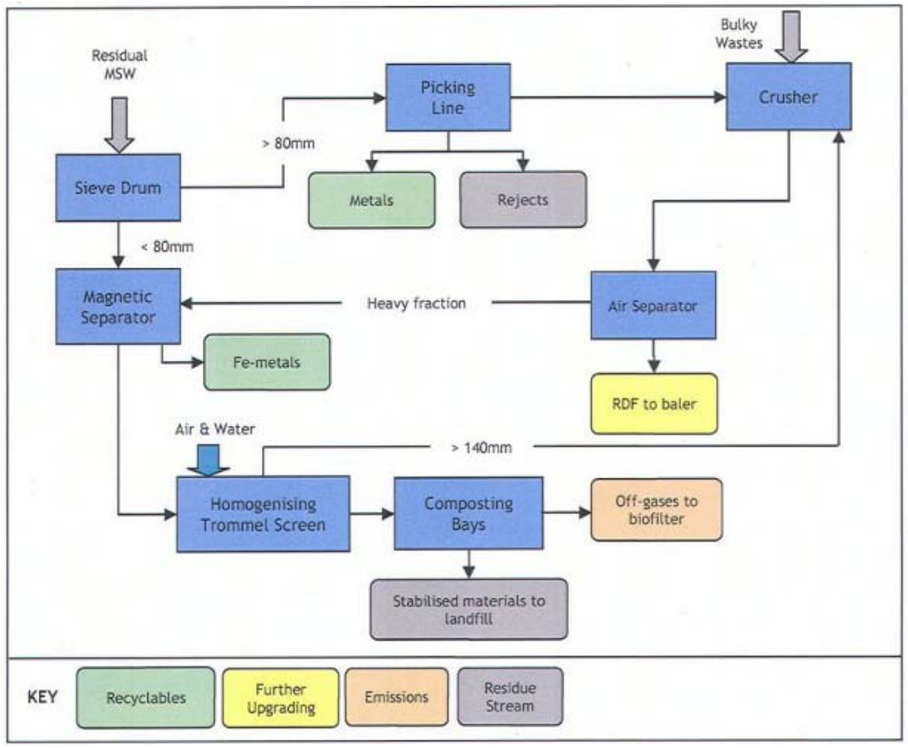
El procés TMB de Sutco és un procés d'estabilització basat en un compostatge en nau tancada. Les principals sortides del procés són un CDR i un bioestabilitzat per a disposició a dipòsit controlat.



Font: adaptat de la documentació de Sutco

3.2.9.3. Descripció del procés.

L'esquema del procés de Sutco (segons ha operat a la planta d'Erbenschwang, Alemanya, del 1997 al 2004) és el següent:



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 85. Esquema del procés Sutco. Planta d'Erbenschwang (Alemanya), període del 1997 al 2004.

Aquest procés, actualment, s'està modificant per a tractar més residus i adaptar-se a la normativa alemanya de bioestabilització dels residus per a la seva disposició a dipòsit controlat.

El nou procés a la planta d'Erbenschawang (Alemanya) rep el residu a un bunker.

El residu es transportat a un triturador, que redueix els materials d'entrada a aproximadament uns 300 mm.

El residu triturat es transporta cap a un trommel que separa en dues fraccions: > 80 mm i < 80 mm.

La fracció > 80 mm passa per un separador electromagnètic que recupera els metalls fèrrics. Els metalls no fèrrics no es separen a aquesta planta perquè es considera que no és econòmicament rentable per la capacitat del procés donat l'elevat grau de separació en origen a Alemanya.

Els materials, després de la recuperació dels metalls fèrrics, s'embalen i s'envien a una planta incineradora com a CDR.

Els metalls fèrrics també es recuperen de la fracció < 80 mm abans de passar a un tambor de barreja per a homogeneïtzar els materials, on s'addiciona aigua. Els materials homogeneïtzats s'envien a compostatge.

El procés de compostatge es realitza amb trinxeres situades a l'interior d'una nau tancada. Aquestes s'airegen mitjançant una combinació d'aireació a pressió, durant 4-5 hores per dia, i un sistema d'aspiració (el sistema d'aspiració és el predominant durant la resta del dia).

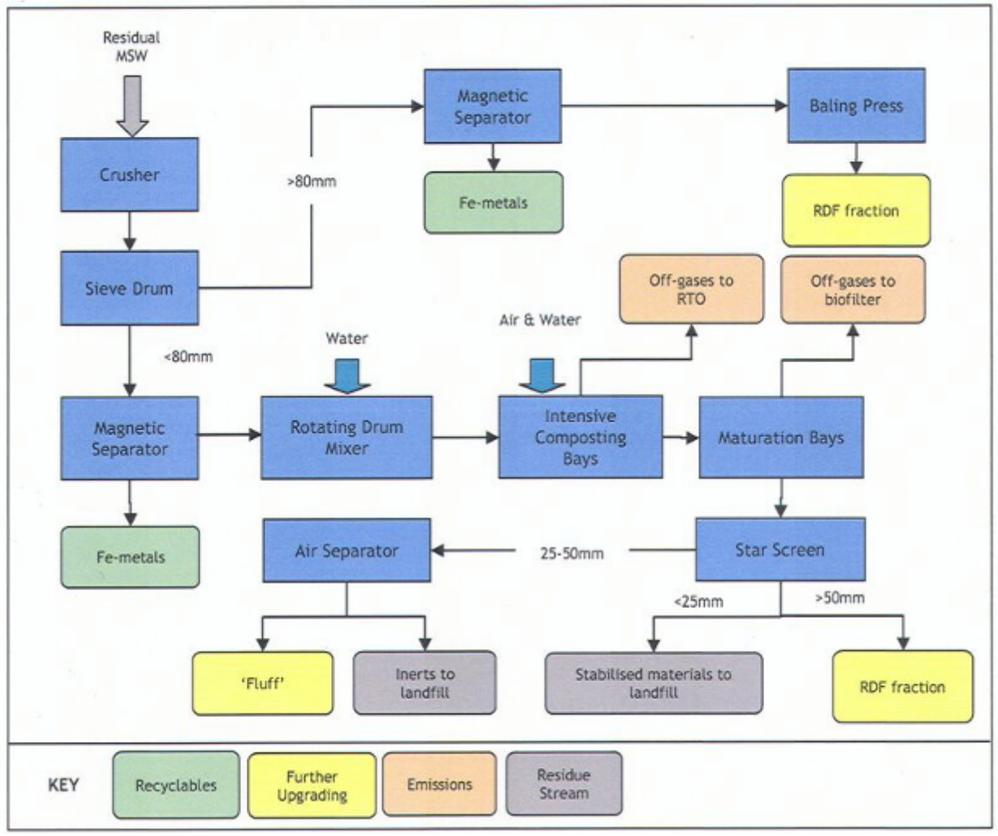
El residu es carrega a aquestes trinxeres mitjançant un sistema de càrrega automàtica i una màquina voltejadora i es composta durant 30 a 40 dies.

Durant aquest període el residu es volteja unes 7 vegades dintre de cada trinxera mitjançant la màquina mòbil voltejadora de les piles "Biofix". Durant el volteig, es pot afegir aigua de xarxa o de procés al residu. Després de l'etapa de compostatge intensiu, el material es passa a un altre conjunt de trinxeres, on es madura durant uns 30 a 40 dies.

El bioestabilitzat final es separa a un garbell d'estrella en tres fraccions. La fracció < 25 mm s'envia a dipòsit controlat sense cap tractament posterior. La fracció de 25-50 mm es passa per un separador densimètric per aire, que separa la fracció orgànica lleugera (tipus floc) de gran part dels inerts.

El floc i la fracció > 50 mm es comercialitzen com a CDR. Els materials inerts s'envien a dipòsit controlat.

Els gasos generats durant el procés de compostatge es capten per un sistema d'aspiració i s'envien cap a un biofiltre.



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 86. Esquema del nou procés a la planta de Sutco a Erbenschwang (Alemanya)

3.2.9.4. *Avantatges i inconvenients.*

Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per RM. – Experiència en el disseny del pretractament i postractament del procés de compostatge.	– No està clara la sortida del CDR produït. – Procés netament deficitari d'energia.

3.2.9.5. *Impactes ambientals.*

– Sistema de tractament de l'aire: La nova planta d'Erbenschwang incorporarà una Oxidació Tèrmica Regenerativa (OTR) per a tractar els aires d'evacuació de les etapes de pretractament mecànic i compostatge. Els gasos de sortida de l'etapa secundària de maduració i afí es tractaran a un biofiltre tancat.

– Tractament d'aigües residuals del procés: El procés és netament deficitari d'aigua requerint-se una aportació d'aigua per al procés.

– Ocupació d'espai i impacte visual: L'ocupació d'espai de la planta d'Erbenschwang (Alemanya) de 40.000 t/any és de 8.448 m^2. Amb això, es pot estimar un rati d'ocupació d'espai de 0.21 m^2 / t/any. Tot i la necessitat d'una maduració del compost, l'ocupació d'espai és relativament baixa.

El principal impacte visual vindria donat pels elements de major alçada com seria la xemeneia d'evacuació del sistema de tractament de l'aire (particularment quan es disposi d'una OTR).

3.2.9.6. *Referències.*

Les referències de Sutco per instal·lacions TMB per al tractament de RESTA són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu	Abast del subministrament
1995	Düren-Horm, Alemanya	180.000	RESTA	Pretractament mecànic
1997	Erbenschwang, Alemanya	22.000 (en ampliació a 40.000 t/any)	RESTA	Procés "Biofix" (procés TMB de Sutco)
1997	Bassum, Alemanya	60.000	RESTA	Pretractament mecànic
2000	Singhofen, Alemanya	45 t/h	RESTA	Pretractament mecànic
2001	Neuss, Alemanya	206.000	RESTA	Planta de separació mecànica
En construcció	Piemont, Itàlia	18.000	RESTA	Procés "Biofix" (procés TMB de Sutco)

Taula 36. Referències de Sutco per instal·lacions TMB

Les referències de Sutco (selecció) per instal·lacions de compostatge per al tractament de residus orgànics són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu
1993	Swistttal-Morenhoven, Alemanya	12.000	Residus orgànics
1994	Lochau, Alemanya	6.500	Residus orgànics
1997	Ratingen, Alemanya	25.000	Residus orgànics
1998	Goch, Alemanya	50.000	Residus orgànics
1998	Viersen, Alemanya	25.000	Residus orgànics
2000	Stavanger, Noruega	28.000	Residus orgànics

Taula 37. Referències de Sutco (selecció) per instal·lacions de compostatge de residus orgànics

Sutco també té experiència en l'equipament mecànic necessari per les plantes TMB i pel refí dels fluxos materials de sortida (p.e. per a ús com a combustible alternatiu).

Les referències de Sutco (selecció) d'instal·lacions de tractament mecànic dels residus (preparació CDR) són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)
1995	Krefeld, Alemanya	13.000
1998	Erfstadt, Alemanya	45.000
2000	Delitzsch, Alemanya	50.000
2002	Winschoten, Holanda	15 t/h
2004	Wiefels, Alemanya	100.000
2005	Neuss, Alemanya	100.000
2005	Meschede, Alemanya	100.000

Taula 38. Referències de Sutco (selecció) d'instal·lacions de tractament mecànic dels residus (preparació CDR)

3.2.9.7. Resum. Conclusions.

- Sutco té una notable experiència en el disseny del pretractament i postractament del procés de compostatge i en el subministrament de equips a diferents plantes deTMB.
- L'experiència de Sutco en processos TMB és comparativament molt més limitada. La seva referència de planta TMB amb subministrament "claus en mà" ha estat en funcionament durant els últims 6 anys amb una disponibilitat elevada.
- Sutco també té experiència en el equipament mecànic necessari per les plantes TMB i pel refí dels fluxos materials de sortida (p.e. per a ús com a combustible alternatiu).

3.2.10. HORSTMANN.

3.2.10.1. Introducció.

Horstmann Gmbh & Co KG és un dels principals subministradors de processos TMB i components i equipaments per plantes TMB a Europa. El seu procés de TMB està basada en el compostatge en túnels, que va ser desenvolupat al 1990 amb la seva empresa holandesa subsidiària WTT (Waste Treatment Technologies BV).

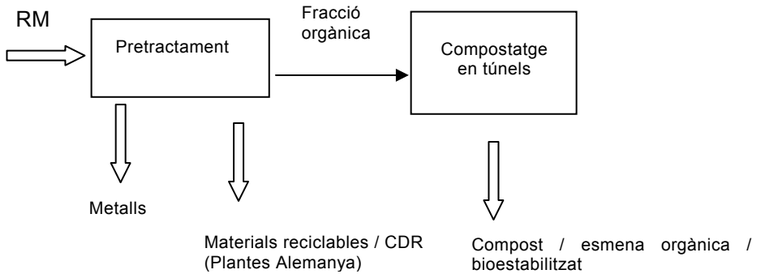
Algunes de les referències de les plantes TMB construïdes als anys 1990 empren el compostatge en piles i Horstmann també subministra sistemes de digestió humida que s'estan construint a dues plantes TMB a Alemanya (Jever i Schaumburg).

La companyia forma part del Horstmann Group alemany. Horstmann ha subministrat equipament per al tractament i classificació de diversos tipus de materials a més de les seves activitats de compostatge de RM i residus orgànics.

Horstmann està representada a Espanya per l'empresa Masias Recycling SL.

3.2.10.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés de Horstman per TMB està basat en el compostatge en túnels. Les principals sortides del procés són un CDR i un bioestabilitzat per a disposició a dipòsit controlat.



3.2.10.3. Descripció del procés.

El procés de TMB de Horstmann ha estat implementat a diversos països de la UE amb diferents configuracions de TMB segons els requeriments per les sortides (CDR, compost, bioestabilitzat a dipòsit controlat i/o maximització de la recuperació de materials).

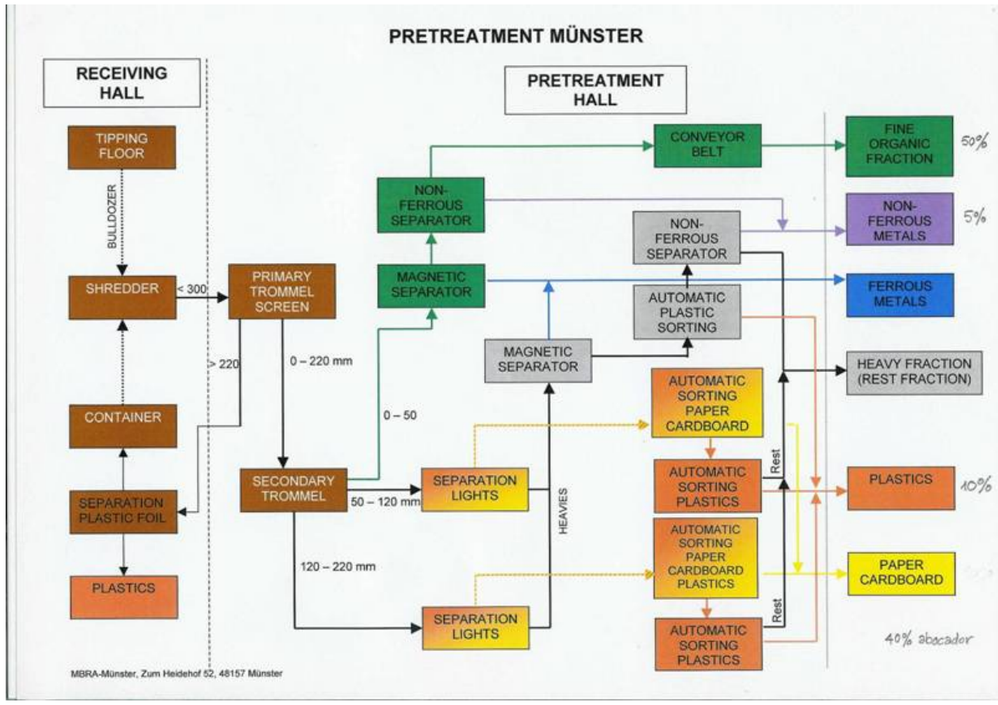
Concepte de procés	Noves plantes de Münster, Alemanya	Neuss, Alemanya	Valladolid, Espanya	Madrid, Espanya	Lleó, Fuenlabrada, Onda, Estappa, Menorca, Olot
Tractament RM en massa			✓	✓	✓
Tractament RESTA	✓	✓			
Per a maximitzar la recuperació de materials	✓				
Per a recuperar metalls	✓	✓	✓	✓	✓
Per a produir CDR					
Per a bioestabilitzar el residu	✓	✓	✓	✓	✓
Per a bioestabilitzar la fracció orgànica del residu per a produir una esmena orgànica o compost			✓	✓	✓
Per a produir un combustible (bioassecatge)		✓			
Per a utilitzar la sortida com un combustible a aplicacions de co-combustió		✓			

Taula 39. Configuracions del procés a diverses de les referències de TMB de Horstmann

Pretractament mecànic.

Com a referència del pretractament mecànic a una de les plantes de Horstmann es presenta a continuació el de la planta de Münster (Alemanya) dissenyada per a prioritzar la recuperació de materials.

Aquesta planta disposa de diversos equips per al pretractament mecànic que constitueixen l'"estat de l'art" com p.e. separadors d'infraroigs (NIR) que no es troben habitualment a altres plantes TMB. Aquest pretractament permet recuperar plàstics lleugers i paper a més dels metalls fèrrics i no fèrrics de la fracció RESTA.



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 87. Esquema del pretractament mecànic Horstmann a la Planta de Münster (Alemanya)

La recuperació de materials a les plantes d'Alemanya optimitza la recuperació de materials via una automatització intensiva mentre que a Espanya es realitza habitualment amb classificació manual[26].

A la planta de Münster (Alemanya), com a pas previ al tractament, s'inspecciona la RESTA per a retirar els voluminosos que són enviats a dipòsit controlat. El residu és triturat i garbellat a una grandària de tall de 220 mm. La fracció de més de 220 mm es retorna a la nau de recepció dels residus per al seu posterior tractament amb els residus d'entrada. La fracció inferior a 220 mm passa per un altre trommel on es divideix en tres fraccions:

- La fracció inferior a 50 mm passa per un separador electromagnètic i per un separador de corrents induïdes per a la separació de fèrrics i no fèrrics respectivament. El material passant seria enviat a la instal·lació de digestió anaeròbia. La instal·lació de digestió no està encara en funcionament i en aquests moments el material s'envia a dipòsit controlat.

- La fracció de 50-120 mm passa per uns separadors d'aire on es produeixen dues corrents: una fracció lleugera i altre pesada. La fracció lleugera passa per uns separadors d'infraroigs per a recuperar paper i plàstics. El material restant s'envia a dipòsit controlat. Els metalls i plàstics es recuperen de la fracció pesada abans de ser enviada a dipòsit controlat.

- La fracció de 120-220 mm passa per uns separadors d'infraroigs per a recuperar paper i plàstics. El material restant s'envia a dipòsit controlat.

Compostatge en túnels.

El sistema de compostatge de túnels de Horstmann/WTT té nombroses referències amb RM.

A les plantes de tractament de RM, la fracció fina sortint del pretractament mecànic es composta durant unes 4 a 7 setmanes.

El bioestabilitzat sortint dels túnels es passa per un afí per a eliminar vidres, pedres, plàstics lleugers i partícules de major grandària. Aquests rebuigs s'envien a dipòsit controlat mentre que el bioestabilitzat s'emmagatzema durant un temps abans de la seva utilització.

[26] A les plantes de Madrid i Lleó s'utilitza un trommel de separació de l'alimentació per a obtenir una fracció fina (que es tracta biològicament) i una fracció gruixuda (que es classifica manualment i eliminació de metalls fèrrics). El rebuig d'aquesta corrent s'envia a dipòsit controlat.

3.2.10.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per RM. – Empresa líder del sector que pot fer un subministrament parcial o total "claus en mà". – La tecnologia ha operat comercialment tenint una amplia experiència a diversos països de la UE amb diferents configuracions de TMB segons els requeriments de les sortides (CDR, compost, bioestabilitzat a dipòsit controlat, i maximització de la recuperació de materials). – Forta presència i confiança del mercat amb aquesta tecnologia tenint actualment diversos contractes "claus en mà" en el competitiu i ben establert mercat alemany.	– Algunes plantes tenen una configuració del procés complexa que pot resultar en majors costos. – Procés netament deficitari d'energia. – Els mercats per les sortides de CDR i esmenes orgàniques no estant ben establerts fan perillar la comercialització d'aquestos fluxos.

3.2.10.5. Rendiments del procés. Balanços de masses i energia.

A continuació es presenten les dades principals del procés, rendiments i balanços per les plantes de Münster (Alemanya) i Valladolid (Espanya):

BALANÇ DE MASSES	**Münster**	**Valladolid**
Entrada	100% (RESTA)	100% (RM)
Pretractament mecànic	Metalls fèrrics i no fèrrics: 4% Plàstics lleugers: 13% Rebuigs a abocador: 31% Fracció orgànica: 52% (a digestió anaeròbia/compostatge)	Metalls: 4% Altres materials recuperats: No disponible Rebuigs a abocador: 20%
Digestió anaeròbia	En construcció	-
Compostatge	En construcció	Compost: 10-20%

3.2.10.6. Impactes ambientals.

- Sistema de tractament de l'aire: Els gasos de sortida de les plantes de Horstmann a Espanya es tracten amb biofiltres.

  A Alemanya es tracten amb oxidació tèrmica regenerativa per a garantir els valors de COT (Carboni Orgànic Total) de la normativa *30.BImSchV*.

- Tractament d'aigües residuals del procés: El procés és netament deficitari d'aigua requerint-ne una aportació d'aigua per al procés de compostatge i maduració.

- Ocupació d'espai i impacte visual: No es disposa d'un rati d'ocupació d'espai (m^2 / t/any) però s'estima que hauria de ser elevat per la superfície necessària per a la maduració del compost/bioestabilitzat.

  Les plantes de referència de Horstmann presenten una configuració amb edificis i instal·lacions de baix perfil. El principal impacte visual vendria donat pels elements de major alçada com seria la xemeneia d'evacuació del sistema de tractament de l'aire (particularment quan es disposi d'una oxidació tèrmica regenerativa).

3.2.10.7. Referències.

Les referències de Horstmann per plantes de tractament de RM, en general, i per instal·lacions TMB són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat de la planta (t/any)	Capacitat a túnels (t/any)	Abast de subministrament			Comentaris
				Pretractament mecànic	Sistema de compostatge	Claus en mà	
1998	Oldenburg, Alemanya	80.000	40.000 (piles)		✓		Part de TMB
1998	Estepa, Espanya	50.000	25.000		✓		Part de TMB
1999	Lomellina, Itàlia	200.000	80.000 (piles)		✓		Part de TMB
2000	Neuss, Alemanya		55.000		✓		Combustible per incineració. Planta de biosecat
2000	Madrid, Espanya	480.000	200.000			✓	Part de TMB
2001	Valladolid, Espanya	210.000	83.000		✓		Part de TMB
2002	Port Talbot, Regne Unit		54.000		✓		Part de TMB – actualment no està en operació
2002	Münster, Alemanya	70.000	30.000	✓	✓		Túnels en construcció
2002	Onda, Espanya	100.000	60.000			✓	
2002	Port Macquire, Austràlia	60.000	30.000		✓		Part de TMB

Any	Ubicació	Capacitat de la planta (t/any)	Capacitat a túnels (t/any)	Abast de subministrament			Comentaris
				Pretractament mecànic	Sistema de compostatge	Claus en mà	
2004	Barcelona, (Ecoparc2), Espanya	265.000		✓			Part de TMB
2004	Lleó, Espanya	217.000	80.000	✓	✓		En posta en servei
2004	Osterholz, Alemanya		60.000			✓	En posta en servei
2004	Frohnleiten, Àustria		65.000		✓		Part de TMB
2004	Menorca, Espanya	80.000	40.000		✓		Part de TMB
2004	Olot, Espanya	25.000	15.000		✓		Part de TMB
2005	Minden, Alemanya	100.000	40.000			✓	En posta en servei
2005	Vorketzin, Alemanya	190.000	114.000			✓	TMB
2005	Rosenow, Alemanya	190.000	114.000			✓	TMB
2006	Kahlenberg, Alemanya	100.000			✓		Part de TMB (túnels utilitzats per a biosecat)

Taula 40. Referències de Horstmann a plantes de tractament de RM

Les referències de Horstmann per plantes de tractament de residus orgànics amb túnels de compostatge són les següents:

Any	Ubicació	Capacitat de la planta	Abast de subministrament	
			Maquinària	Procés de compostatge
1996	Laubberg, Alemanya	25.000	✓	✓
1996	Klosterforst, Alemanya	15.000	✓	✓
1997	Wiehagen, Alemanya	20.000	✓	✓
1997	Würzburg, Alemanya	25.000	✓	
1997	Biogene Centre Peine, Alemanya	14.000	✓	✓
1999	Singhofen, Alemanya	30.000	✓	✓
1999	Frankfurt, Alemanya	30.000	✓	✓
1999	Ramboulliet, França	12.000	✓	✓
2001	Ecopol, Itàlia	26.000		✓
2001	Maasmechelen, Bèlgica	27.500	✓	✓
2003	Nieheim, Alemanya	75.000	✓	✓

Taula 41. Referències (selecció) de plantes de compostatge de residus orgànics amb túnels de Horstmann

3.2.10.8. Resum. Conclusions.

- Horstmann/WTT és un dels principals subministradors de processos TMB amb una amplíssima experiència i referències en el sector.

- Ha subministrat plantes "claus en mà" disposant de forts recursos tècnics i d'enginyeria per el disseny i fabricació dels equips principals del procés.

- Han treballat amb algunes de les principals empreses de gestió de residus a diversos països de la UE i amb diversos subministradors de processos TMB i administracions locals, principalment a Alemanya, per a realitzar projectes TMB.

- La tecnologia ha operat comercialment tenint una amplia experiència a diversos països de la UE amb diferents configuracions de TMB segons els requeriments de les sortides (CDR, compost, bioestabilitzat a dipòsit controlat i/o maximització de la recuperació de materials).

3.2.11. LINDE.

Les seves tecnologies de compostatge es descriuen a l'apartat 3.1.5 del present Annex.

3.2.12. ROS ROCA.

Les seves tecnologies de compostatge es descriuen a l'apartat 3.1.10 del present Annex.

3.2.13. GICOM.

3.2.13.1. Introducció.

Des de 1984, Gicom ha desenvolupat instal·lacions de compostatge controlades i automatitzades per al cultiu de fongs, tractament de residus i indústria mediambiental.

El sistema de compostatge Gicom està basat en el compostatge de la matèria orgànica amb sòl amb aeració forçada sòl, amb el seu sistema *spigotsystem*.

3.2.13.2. Descripció general de la tecnologia.

Gicom subministra plantes "claus en mà", parts o equipament individual per al compostatge o assecat biològic de residus amb túnels (estàtics o dinàmics).

La tecnologia Gicom té vàries aplicacions:

- Producció de diferents tipus de compost per fongs alimentaris mitjançant sòl airejat, compostatge en nau i túnels.

- Compostatge de residus municipals, residus verds, residus de menjars, aigües residuals, fangs industrials, pasta de paper, fems, co-compostatge, residus de procés de digestió anaeròbica i, en general, residus orgànics.

- Assecat de residus biològicament per a propòsits d'estabilització.

- La producció d'adob en forma de diferents fongs usant la fermentació del sòl airejada, el compostatge interior, així com els túnels.

3.2.13.3. Descripció general del procés.

Les etapes del procés de Gicom per al tractament dels RM són les següents:

- El residu és descarregat a una platja de recepció.

- La fracció de major grandària (>250 mm) es garbella i separa.

- Els residus es barregen amb una pala carregadora amb material recirculat compostat. En cas necessari, s'inclou un sistema de trituració per facilitar el compostatge de la fracció de major grandària.

- La barreja de residus orgànics es carrega diàriament al túnel mitjançant una pala carregadora.

- El compostatge en túnels es realitza durant 9-14 dies (depenent del règim de recepció dels residus). El túnel es buida mitjançant una pala carregadora.

  Els túnels són subministrats amb mesures de:

- Temperatura del material.
- Temperatures d'aire.
- Oxigen.
- Volum d'aire.
- Quantitat d'aire.

– Posteriorment, el material s'envia a una etapa de maduració amb sòl airejat durant un període de 3-6 setmanes. Després d'aquest període el material es garbella. La fracció de major grandària es recircula i barreja amb el residu d'entrada.

– L'aire del procés es capta i s'envia a un rentador de gasos (amb aigua) i biofiltre.

El biofiltre es subministrat amb mesures de:

- Temperatura del rebliment del biofiltre.
- Temperatures d'aire (seca i humida).
- Volum d'aire.
- Quantitat d'aire.

– Els lixiviats generats al procés es reutilitzen parcialment als túnels. Una part s'envia al rentador de gasos. En condicions normals de funcionament no n'hi ha excedent d'aigua de procés.

Gicom disposa tanmateix de túnels amb càrrega i descàrrega automàtica. Gicom ha subministrat túnels de capacitats de càrrega i descàrrega d'entre 40-400 t/h.

Font: Gicom

Figura 88. Planta de Gicom a Porto (Portugal) amb túnels de càrrega i descàrrega automàtica. Capacitat: 60.000 t/any de FORM

3.2.13.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Procés demostrat per RM en massa. – Procés desenvolupat per grans capacitats de tractament. – Procés d'implementació relativament simple.	– Procés netament deficitari d'energia.

3.2.13.5. Referències.

Any	Empresa	Ubicació	Capacitat (t/any)
2005	O'Toole	Carlow, Irlanda	10.000
2004	Lipor	Porto, Portugal	60.000
2003	Orgaworld	Lelystad, Països Baixos	60.000
2003	Orgaworld	Lelystad, Països Baixos	15.000
2002	Kaathoven	St. Oedenrode, Països Baixos	10.000
2001	SESA	Padova, Itàlia	50.000

Any	Empresa	Ubicació	Capacitat (t/any)
2000	SESA	Padova, Itàlia	30.000
1999	SESA	Padova, Itàlia	30.000
1999	Trento	Trento, Itàlia	3.000
1999	Halden	Halden, Noruega	4.000
1998	Publiser	Empoli, Itàlia	60.000
1998	DDS	Dendermonde, Bèlgica	17.500
1997	PROAV	Rotterdam, Països Baixos	70.000
1997	Intradel	Liege, Bèlgica	3.000
1996	RAZOB	Deurne, Països Baixos	10.000
1996	Emsland	Meppen, Dinamarca	17.000
1995	Schneider	Gieβen, Dinamarca	30.000
1995	Kaathoven	St. Oedenrode, Països Baixos	10.000
1994	RAZOB	Acht, Països Baixos	25.000
1994	WKG	Würzburg, Dinamarca	20.000
1994	WGV	Quarzbichl, Dinamarca	20.000
1993	Kaathoven	Bladel, Països Baixos	39.000
1993	Twente	Boeldershoek, Països Baixos	60.000
1993	OGAR	Pekela, Països Baixos	25.000
1993	AVL	Venlo, Països Baixos	75.000
1992	Kaathoven	St. Oedenrode, Països Baixos	25.000
1992	VAM	Zeeland (NB), Països Baixos	10.000
1992	RAZOB	Deurne, Països Baixos	25.000
1991	Ferm-o-feed	Zeeland (NB), Països Baixos	1.000
1991	Kaathoven	St. Oedenrode, Països Baixos	10.000
1990	Heidemij	St. Oedenrode, Països Baixos	3.000
1988	VAM	Wijster, Països Baixos	1.000

Taula 42. Referències de Gicom a plantes de compostatge de RM i residus verds

3.2.14. HERHOF.

3.2.14.1. Introducció.

Herhof Environmental Limited és propietat de la companyia irlandesa Treasury Holdings. Aquesta va formar-se per una *joint-venture* entre E-Co-The Waste Company, una empresa subsidiària de Treasury Holdings, i els desenvolupadors del les tecnologies de secat biològic i compostatge de Herhof, Herhof Umwelttechnik GmbH.

A octubre de 2003, Treasury Holdings va adquirir el grup alemany Herhof, incloent las patents tecnològiques, projectes i llicències, i són ara els únics propietaris de Herhof Environmental.

Herhof Umwelttechnik ha estat actiu en el camp del compostatge i gestió de residus des de 1986. La seva primera planta de compostatge va començar a operar al 1987. Des de llavors, Herhof a construït nombroses plantes de compostatge, en túnels, principalment de FORM a Alemanya i Àustria.

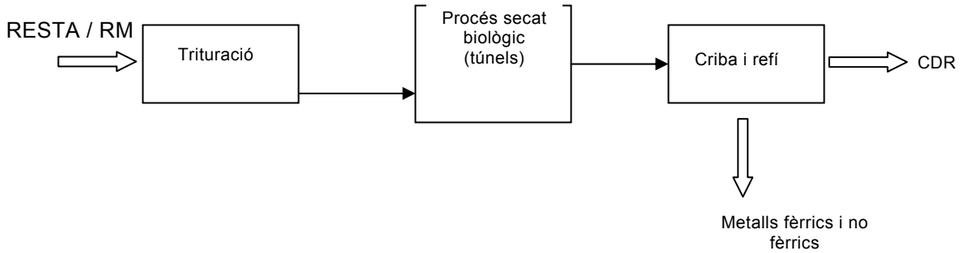
A partir de la seva tecnologia de compostatge, Herhof va desenvolupar el seu procés amb secat biològic per al tractament biològic-mecànic (TBM) de la RESTA/RM al 1995. La primera planta TBM va començar a operar al 1997 a Aβlar, Alemanya. Des d'aleshores, Herhof ha construït diverses plantes a Alemanya, Itàlia, i recentment a Bèlgica.

Herhof és una de les poques companyies que ha explorat les diferents opcions d'ús de la seva sortida de CDR, incloent la recuperació energètica a processos de combustió i com a combustible alternatiu a cimenteres i centrals tèrmiques. Herhof ha estat operant una petita planta de combustió (prop de Aβlar) per a la valorització energètica del Stabilat[27].

3.2.14.2. Descripció general de la tecnologia.

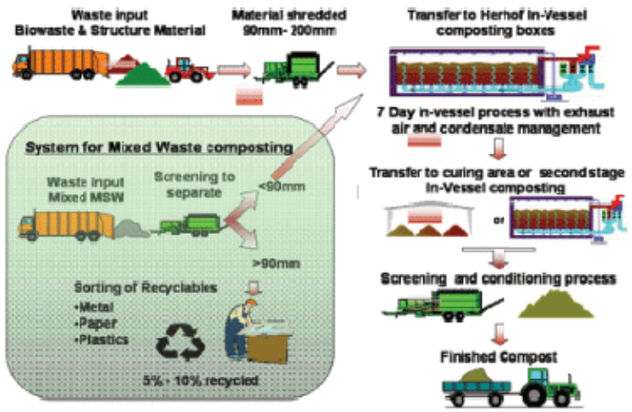
El procés HERHOF és un tractament biològic-mecànic per el tractament de la RESTA o RM basat en una trituració, secat biològic del residu, i tamisat i refí final per a l'obtenció d'un CDR.

[27] Nom comercial que utilitza Herhof pel CDR sortint del seu procés de secat biològic.



Font: adaptat de la documentació de Herhof

Aquest sistema es pot adaptar per al compostatge i estabilització de la FORM i RESTA/RM per a l'obtenció d'un compost i/o bioestabilitzat.



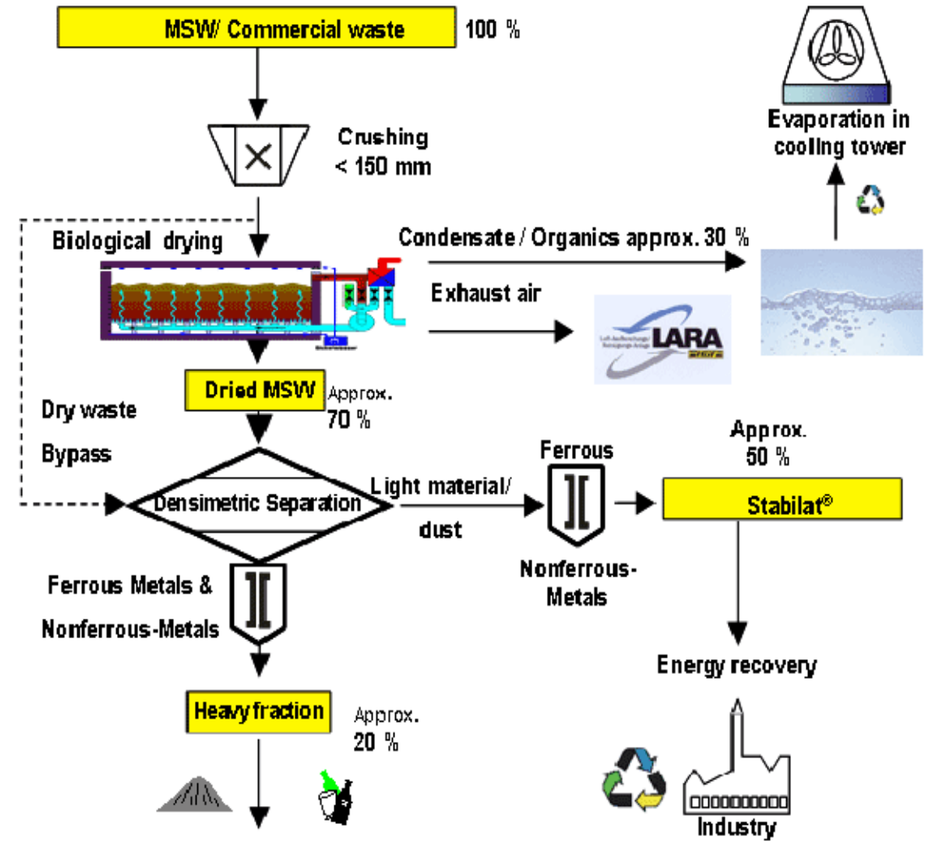
Font: Herhof

Figura 89. Configuracions generals del procés Herhof

3.2.14.3. *Descripció del procés.*

El procés TMB de Herhof es pot dividir en les següents etapes principals:

- Recepció i condicionament dels residus.
- Secat biològic.
- Producció de CDR.



Font: Herhof

Figura 90. Esquema general del procés Herhof

Recepció i condicionament dels residus.

La fracció RESTA dels residus municipals es descarrega en un bunker des de el que s'alimenta a un dels dos trituradors utilitzant un pont grua amb pop. Els trituradors redueixen la grandària de partícula a menys de 150-200 mm. El residu triturat passa a un bunker pulmó després de la separació inicial de metalls fèrrics.

Secat biològic aerobi o biosecat.

Un segon pont grua transfereix el material del bunker pulmó a l'assecador biològic (túnel Herhof) que estigui preparat per la recàrrega. La operació de càrrega està automatitzada.

El mateix pont grua s'utilitza per obrir la tapa del túnel, i descarregar el material secat biològicament.

Font: Biometa 05

Figura 91. Vista general del túnels d'assecat biològic (Planta de Rennerod)

El residu romandrà en els túnels durant 6 dies sota condicions aeròbiques, sense addició d'aigua, no produint-se un compostatge complert del residu. La reducció de massa en aquesta etapa d'assecat és d'aproximadament un 30%.

L'objectiu és extreure la major quantitat possible d'aigua en un curt periode de temps mitjançant l'energia despresa per la descomposició de la fracció més biodegradable del residu.

Els motius principals per a l'assecat dels residus són els següents:

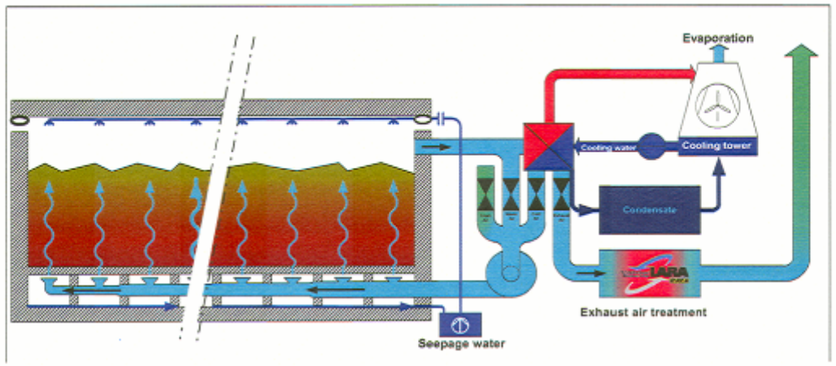
a) Reduir la humitat del residu (<12% humitat) amb un contingut reduït de la matèria orgànica més fàcilment biodegradable.

b) L'assecat del residu facilita la seva posterior separació per fraccions.

Cada túnel d'assecat biològic té un volum efectiu d'aproximadament 600 m^3 i pot admetre fins a 300 t de residus. Durant el procés d'emplenat dels túnels, l'alçada d'emplenat es controla automàticament amb el mateix sistema de pont grua.

Tota l'operació està completament automatitzada tant en el búnker com a la nau de descomposició.

La pols s'extrau de la nau mitjançant un sistema d'aspiració per a evitar l'embrutament del pont grua.



Font: Herhof

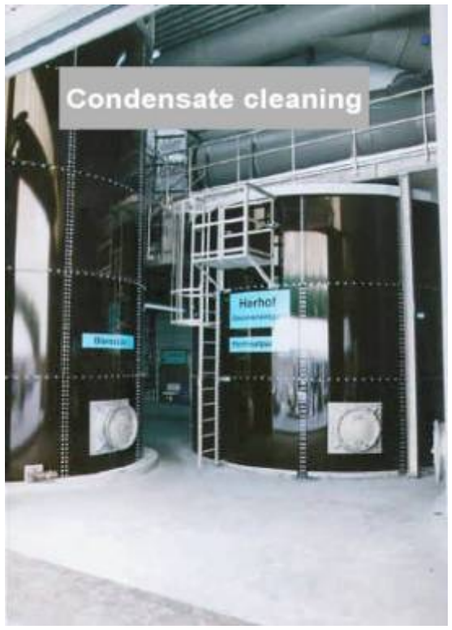
Figura 92. Esquema dels túnels Herhof

L'aire s'introdueix per un sistema de distribució situat en el sòl dels túnels i s'ajusta automàticament mitjançant la mesura contínua de temperatura i diòxid de carboni. La taxa de ventilació del material és de 100 a 125 $m^3/h/m^2$.

La temperatura al túnel arriba a uns 50 ºC el primer dia i es manté durant tota l'etapa d'assecat, entre 5 i 10 dies (típicament 6 dies) depenent de l'optimització del funcionament a cada planta.

La major part de l'aire saturat es recircula, després d'un refredament en un sistema d'intercanvi de calor, fins a que els nivell de diòxid de carboni arribin a un valor límit, moment en el que part de l'aire s'envia a un sistema d'Oxidació Tèrmica Regenerativa (OTR). Aquesta configuració minimitza el cabal d'aire a tractar, reduint-ne els costos d'operació del sistema OTR.

Segons les condicions locals d'abocament, el condensat generat en els intercanviadors de calor pot descarregar-se a la xarxa pública de sanejament o pot tractar-se en un sistema biològic de 2 etapes i sistema posterior de filtració per a reutilitzar-ne com aigua de reposició pel refredament dels gasos de sortida dels túnels. En aquest últim cas, no hi generació d'aigües residuals.



Font: Herhof

Figura 93. Instal·lació de tractament dels condensats

Producció de CDR.

El material assecat biològicament es transportat a una etapa de criba i refí per a l'eliminació dels materials inerts i altres contaminats pesants. Tots els equips en aquesta secció estan totalment encapsulats.

Font: Biometa 05

Figura 94. Vista general del equips de separació mecànica posterior al secat biològic. Planta de Rennerod, Alemanya.

En aquesta etapa, hi ha dues etapes de separació densimètrica; la primera separa les fraccions lleugeres i pesants i la segona recupera el material combustible de la fracció pesant. Després de cada etapa de separació densimètrica, es realitza la recuperació dels metalls fèrrics i no fèrrics.

L'aire l'etapa de separació densimètrica es condueix a un filtre de mànigues abans de ser reutilitzat a la planta. La pols recollida als filtres de mànigues es peletitzada i barrejada amb el CDR.

La composició típica del CDR és la següent:

Paràmetre	Unitats	Anàlisi base seca, %
Material no combustible (pedres, vidre, ceràmiques, metalls)	% s.m.s	1
Material combustible de fonts renovables (cartró, paper, tèxtils, fusta, material orgànic)	% s.m.s	65
Plàstics	% s.m.s	9
Altres combustibles de fonts no renovables (gomes, tèxtils, composites, etc.)	% s.m.s	25
Poder calorífic	MJ/kg	15-18
Humitat	%	15
Contingut de cendres	%	20

Font: Herhof

Taula 43. Procés Herhof. Composició típica del CDR

El CDR es pot condicionar segons el destí final com flocs ("fluff"), peletitzat ("softpellet") o en briquetes ("hartpellet").

En el cas de la utilització del CDR en una planta de valorització energètica, Herhof preveu el condicionament en forma de pellet.

Figura 95. CDR (tipus "fluff")

Figura 96. CDR (tipus "softpellet")

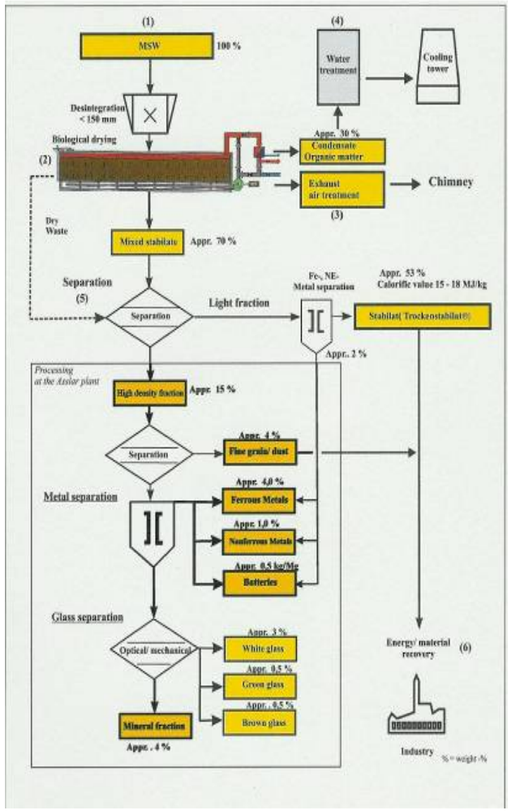
Figura 97. CDR (tipus "hartpellet")

3.2.14.4. Dades particulars d'algunes plantes de referència.

3.2.14.4.1. Planta de Rennerod.

Les dades bàsiques de la planta de Rennerod (Alemanya), són les següents:

- Tractament d'aproximadament 100.000 t/any de fracció RESTA.
- En servei des de l'any 2000.
- L'àrea construïda és d'aproximadament 5.500 m^2.
- Aproximadament el 50% dels residus entrats s'utilitza com a CDR en plantes de producció d'energia.
- Hi ha una primera fase en que tot el material es tractat biològicament (túnels Herhof), i posteriorment hi ha una segona fase de separació mecànica dels diferents materials.
- La planta representa un cost d'implantació estimat de 24-25 M€.
- Els costos d'operació se situen en 28-30 €/t, al que s'ha d'afegir el cost del material secat biològicament (definit com "stabilat").



Font: Herhof

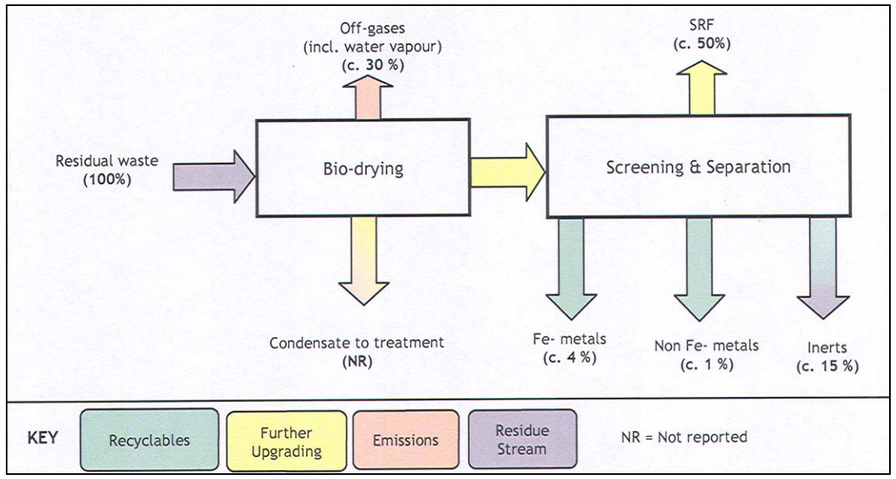
Figura 98. Esquema de procés (planta de Rennerod, Alemanya)

3.2.14.5. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Nombroses plantes TMB a escala industrial tractant RM – Elevada disponibilitat del procés – Rangs de capacitat de tractament des de 85.000 a 150.000 t/any. Sistema modular (cada túnel admet unes 280 t depenent dels criteris de disseny)	– En el cas de producció d'un CDR, no està clara la sortida al mercat del producte – Possible necessitat de estabilitzar completament el CDR en cas de que s'hagi d'enviar a dipòsit controlat

3.2.14.6. Rendiments del procés. Balanços de masses.

El balanç de masses típic del procés de Herhof amb secat biològic aerobi es presenta a la figura següent:



Font: MBT: A guide for decision makers, 2005

Figura 99. Balanç de masses del procés Herhof.

El potencial de desviació de residus amb destinació final a dipòsit controlat (en massa) és el següent:

Potencial de derivació	Mínim, %	Màxim, %	Base d'estimació
Percentatge del residu d'entrada al procés que pot desviar-se de dipòsit controlat	Aprox. 35	Aprox. 85	Mín: CDR a dipòsit controlat, inerts a dipòsit controlat Màx: CDR a valorització energètica, inerts a dipòsit controlat
Notes: No es disposa de dades de la biodegradabilitat dels fluxos del procés. Com a escenari més desfavorable, s'ha considerat que la fracció inert no es recicla i s'envia a dipòsit controlat.			

3.2.14.7. Impactes ambientals.

– Sistema de tractament de l'aire: Els gasos de sortida del procés són depurats a un sistema de Oxidació Tèrmica Regenerativa (OTR) patentat per Herhof (conegut com LARA[28]) per a complir amb els exigents requeriments de la normativa alemanya *30. BImSchV.*

[28] LARA és la marca comercial del sistema d'Oxidació Tèrmica Regenerativa de HERHOF.

A aquest sistema els gasos es combustionen a una temperatura de 850 ºC i un temps de residència de 2 segons. Els gasos de combustió s'emeten per xemeneia a l'atmosfera. Per a reduir els costos d'operació de l'oxidació tèrmica, es recupera fins el 98% del calor dels gasos de combustió mitjançant un sistema regeneratiu format per tres llits ceràmics de manera que l'aire a tractar es prescalfa amb els gasos de combustió. En qualsevol moment una de les cambres es refreda mentre que l'altre es calenta. Un cremador proporciona l'energia necessària per a arribar als 850 ºC a la cambra de combustió situada sobre els llits ceràmics. El tercer llit s'utilitza per les purgues de l'aire del sistema.

Per tal d'assegurar una disponibilitat molt elevada (superior al 98,9%) del sistema de depuració de l'aire, la unitat d'OTR està redundada.

El sistema de depuració d'aire presenta els següents resultats:

	Aire a tractar		**Aire net**	
	TOC (mg/m^3)	**NO_x (mg/m^3)**	**TOC (mg/m^3)**	**NO_x (mg/m^3)**
Bunker	30-60	0	Utilitzat com aire de procés	
Àrea superior nau de compostatge	15	0	Utilitzat com aire de procés	
Aire de procés	50-500	0	2-4	10-20
Reducció d'olors			> 97%	

Font: Herhof

Taula 44. Rendiments del sistema de depuració d'aires del procés Herhof

Font: Biometa 05

Figura 100. Sistema de depuració de l'aire: Instal·lació d'Oxidació Tèrmica Regenerativa (planta de Rennerod, Alemanya)

– Tractament d'aigües residuals del procés: En el procés de Herhof es produeixen dos tipus d'aigües residuals:

  - Lixiviat produït en els primers dies de degradació, que contenen una elevada càrrega de matèria orgànica. El lixiviat es recircula al túnel per a la seva evaporació en el mateix amb el que no hi ha generació neta de lixiviats.

  - El condensat generat al refredar l'aire saturat sortint dels túnels. La generació de condensat és de 250 litres per tona de residu d'entrada.

  Aquí es presenten dues alternatives per al tractament del condensat:

  1. El condensat es pot abocar a xarxa de sanejament (depenent dels límits d'abocament locals). En aquest cas seria necessari l'aportament necessari d'aigua de xarxa per a la reposició a les torres de refrigeració dels intercanviadors.

  2. El tractament dels condensats a la planta per obtenir un aigua de reposició per a les torres de refrigeració. En aquest cas, no hi ha abocament d'aigües residuals de procés.

– Instal·lació de tractament de condensats: El tractament de condensats de Herhof es basa en la tecnologia de Bioreactor de membrana (BRM). Aquesta combina el

tractament biològic (bioreactor amb etapa de desnitrificació) i la separació de la biomassa amb membranes d'ultrafiltració. El condensat s'envia a un dipòsit pulmó amb capacitat de fins a 3 dies, per homogeneïtzar la concentració i cabal d'entrada al tractament biològic (bioreactor).

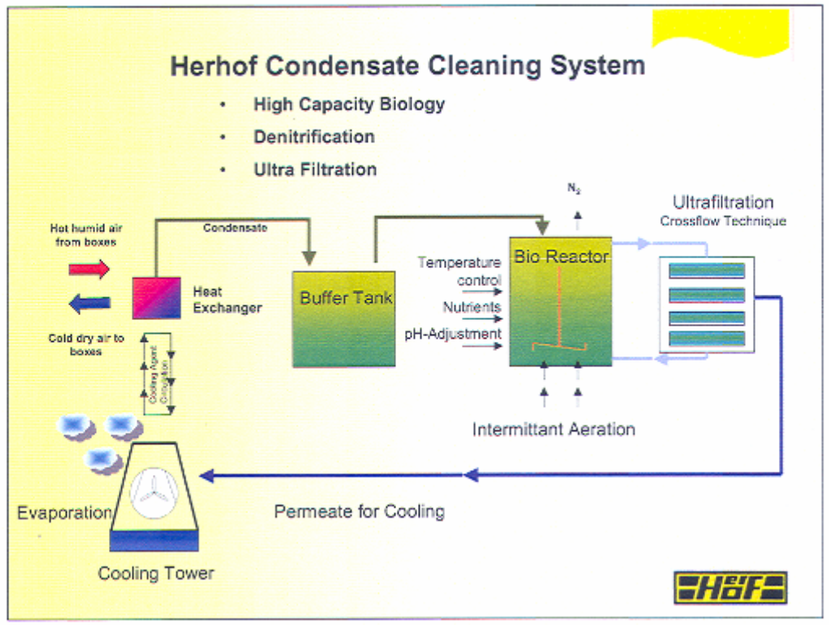
En el bioreactor, el temps de permanència és de 12 hores. El bioreactor està equipat amb un control de pH i temperatura. L'aportació d'oxigen es realitza mitjançant agitació.

Durant el procés biològic (desnitrificació/nitrificació) es controla l'acidificació del medi ambient mitjançant l'addició d'hidròxid sòdic.

El condensat és, per la seva naturalesa, una espècie de "destil·lat". El principal nutrient que conté és nitrogen, essent necessària l'addició de fòsfor per al correcte creixement de la biologia.

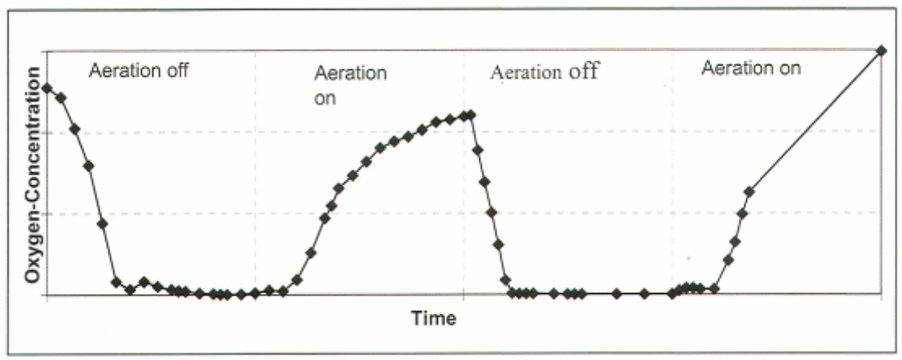
La biomassa es reté en el reactor mitjançant les membranes d'ultrafiltració. El permeat de les membranes es reutilitza per a la reposició de l'aigua de condensació de les torres de refrigeració dels intercanviadors de calors dels túnels d'assecat.

La generació de fangs al reactor biològic és molt baixa degut a la natura de "destil·lat" dels condensats.



Font: Herhof

Figura 101. Esquema del procés de tractament de condensats Herhof



Font: Herhof

Figura 102. Cicles d'aireació en el reactor biològic

– Ocupació d'espai i impacte visual: La planta de Aβlar (Alemanya) de 120.000 t/any ocupa una superfície d'uns 7.800 m^2, mentre que la de Dresden (per 85.000 t/any)

ocupa una superfície (edificada) de 5.800 m^2. Amb això, es pot estimar un rati d'ocupació d'espai de 0.065 m^2 / t/any.

El principal impacte visual ve donat per la xemeneia d'evacuació dels gasos de combustió del sistema de depuració d'aire.

3.2.14.8. Costos.

Els costos d'inversió per a una planta tipus de 85.000 t/any de RESTA per a la producció de CDR, facilitats per Herhof, són d'uns 26.000.000 € (dels quals aprox. un 70% correspon al subministrament de Herhof i la resta al de tercers). A l'apartat *Referències* es presenten les inversions de les diferents plantes de Herhof.

Els costos d'operació (planta de Rennerod) es situen en 28-30 €/t, al que s'ha d'afegir el cost del material secat biològicament (definit com "stabilat").

3.2.14.9. Referències.

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu	Inversió estimada (€)
1987 1992/Ampliació	Planta de Compostatge Asslar I+II, Lahn-Dill-Kreis Alemanya	30.000	FORM	6.000.000
1989 1992/Ampliació 1993/Ampliació 1995/Ampliació 1995/Ampliació	Planta de Compostatge Stockerau, Abocador Fuchsenbühel, Àustria	10.000	FORM	3.000.000
1990 1992/Ampliació 1994/Ampliació	Planta de Compostatge Judenburg, Abocador Gasselsdorf, Àustria	4.200	FORM	1.500.000
1991	Planta de Compostatge de Darmstadt Kranichstein, Alemanya	12.000	FORM	8.000.000
1991	Planta de compostatge Abocador Edesheim, *Südliche Weinstrasse,* Alemanya	6.000	FORM	4.000.000
1992	Planta de compostatge Lampertheim Landkreis Bergstrasse, Alemanya	10.000	FORM	7.500.000
1992	Planta de Compostatge Abocador Ingenheim *Südliche Weinstrasse,* Alemanya	6.000	FORM	4.000.000
1992	Planta de compostatge Landkreis Eisenach, Alemanya	2.000	FORM	1.500.000
1990 1996/Ampliació	Planta de compostatge Dörnigheim I + II *Stadt Maintal/ Umlandverband,* Alemanya	7.700	FORM	11.000.000
1992	Planta de compostatge Landkreis Gotha Alemania	6.000	FORM	3.500.000
1993 1996/Ampliació	Planta de compostatge Lensahn I + II ZVO Ostholstein Alemanya	9.000	FORM	5.500.000
1993	Planta de compostatge Stadt Rostock, Alemanya	24.000	FORM	11.000.000
1993	Planta de compostatge Beilstein *Lahn-Dill-Kreis,* Alemanya	21.000	FORM	10.000.000
1993	Planta de compostatge Oberscheld Lahn-Dill-Kreis, Alemanya	12.000	FORM	5.000.000
1993	Planta de compostatge Langerwisch I+II Potsdam-Land, Alemanya	2.000	FORM	1.000.000
1994	Planta de compostatge Landkreis Cloppenburg, Alemanya	12.000	FORM	5.500.000

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu	Inversió estimada (€)
1994	Planta de compostatge St. Veit/Glan I+II, Àustria	8.400	FORM	4.500.000
1994 1998/Ampliació	Planta de compostatge Landkreis Ilmenau, Alemanya	6.500	FORM	5.500.000
1994 1997/Ampliació	Planta de compostatge Landkreis Helmstedt, Alemanya	20.000	FORM	7.500.00
1995	Planta de compostatge Recyclingzentr. Borgstedt Rendsburg-Eckernförde, Alemanya	12.000	FORM	10.500.000
1995	Planta de compostatge St. Andrä/Lavanttal I, Àustria	2.800	FORM	1.000.000
1995 1995/Ampliació 1997/Ampliació	Planta de compostatge Spittal / Drau I+II+III, Austria	5.600	FORM	3.500.000
1996	Planta de compostatge DDS Dendermonde, Bèlgica	27.000	FORM	11.000.000
1996 1999/Ampliació	Planta de compostatge Lohfelden I + II Landkreis Kassel, Alemanya	15.000	FORM	9.000.000
1996	Planta de compostatge Fuldatal Landkreis Kassel, Alemanya	6.500	FORM	5.500.000
1995 1998/Ampliació	Planta de compostatge Peel / Notario, Canadà	10.000	FORM	4.500.000
1995	Planta de compostatge Landkreis Forchheim, Alemanya	7.000	FORM	3.600.000
1995	Planta de compostatge Stausebach Marburg-Biedenkopf, Alemanya	6.500	FORM	1.300.000
1996	Planta de compostatge Hansestadt Lübeck, Alemanya	30.000	FORM	6.500.000
1996	Planta de compostatge Landkreis Freital/ Sacasen, Alemanya	12.000	FORM	3.500.000
1996	Planta de compostatge Stadt Karlsruhe, Alemanya	6.500	FORM	1.000.000
1997	Planta de compostatge d'aigües residuals-Beuerbach Abwasserverband Idstein, Alemanya	6.500	Fangs	2.200.000
1997 1999/Ampliació	Planta de compostatge Landkreis Miltenberg, Alemanya	17.000	FORM	4.800.000
1997	Planta de RM TMB Asslar Lahn-Dill-Kreis+Lk Gießen, Alemanya	140.000 Central elèctrica: (Máx: 10 MW)	RESTA	27.000.000
1997	Planta de compostatge Niederstein Landkreis Limburg-Weilburg, Alemanya	36.000	FORM	7.500.000
1998	Planta de compostatge AWT Trittau Lk Stormarn + Lauenburg, Alemanya	15.000	FORM	5.500.000
1997	Planta de compostatge tar-bud-komplex Zywiec, Polònia	1.500	FORM	1.000.000
1999	Planta de compostatge Almagro, Espanya	28.000	FORM	4.000.000
2000	Planta TMB de Rennerod Westerwaldkreis, Alemanya	100.000	RESTA	19.000.000
2000	Planta de compostatge Cobble Hill HUWS, Canadà	3.000	FORM	1.600.000

Any	Ubicació	Capacitat (t/any)	Tipus de residu	Inversió estimada (€)
2001	Planta TMB de Fusina Venice AMAV, Itàlia	150.000 80.000	RESTA FORM	33.000.000
2001	Planta TMB de Dresden, Alemanya	85.000	RESTA	22.000.000
2005	Planta TMB de IVAREM-IOK, Bèlgica	150.000	RESTA	34.000.000
2006	Planta TMB de Osnabrück, Alemanya	85.000	RESTA	23.000.000

Taula 45. Referències de Herhof

3.2.14.10. Resum. Conclusions.

- Herhof té una forta implantació a Europa i té referències a diferents països.
- Als casos on sigui viable la comercialització del CDR produït, el sistema de Herhof seria una de les referències més complertes.

3.2.15. ECODECO.

3.2.15.1. Introducció.

Ecodeco S.A. forma part del grup Sistema Ecodeco. Aquest grup és una de les principals empreses regionals de Itàlia de construcció i gestió d'instal·lacions de tractament, recuperació i eliminació de residus municipals i industrials, gestionant més d'1 milió de tones per any.

L'empresa, fundada a l'any 1973, va ser inicialment activa com a consultoria al sector de gestió de residus industrials i d'emissions. A l'any 1996, Ecodeco va construir les seves dues primeres plantes TMB utilitzant un procés d'assecat biològic aerobi, anomenat Biocubi®.

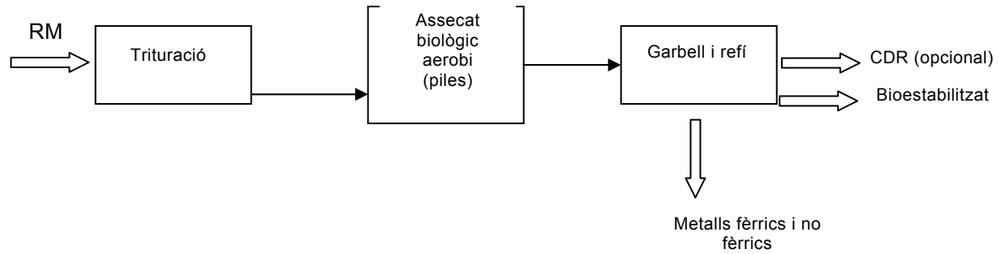
La seu de l'empresa es situa al nord de Itàlia, i que conta amb una plantilla de 160 empleats, ha estat recentment reorganitzada per a separar les activitats de gestió de residus municipals i industrials.

Ecodeco té diverses referències a Itàlia, algunes operant des de fa més de cinc anys i, actualment, té plantes en construcció al Regne Unit i a Espanya.

L'empresa Teconma actua a Espanya com representant d'Ecodeco.

3.2.15.2. Descripció general de la tecnologia.

El procés Biocubi® s'aplica a través de les (anomenades per Ecodeco) Estacions de Transferència Intel·ligents (ITS®), a on el residu es sotmès a un procés d'assecat biològic aerobi, utilitzant la fermentació aeròbica de la matèria orgànica present en el mateix (controlant la calor despresa en la mateixa), per a posteriorment, en cas de considerar-ho oportú, realitzar un tractament mecànic per a la selecció de les diferents fraccions, de manera que també es puguin preparar un combustible derivat de residus (CDR), que permeti una millor valorització.



Font: adaptat de la documentació d'ECODECO

Aquest mateix procés es pot utilitzar per a compostar la matèria orgànica recollida selectivament i els residus verds (podes, gespa, etc.), de manera que es pugui obtenir un compost de qualitat.

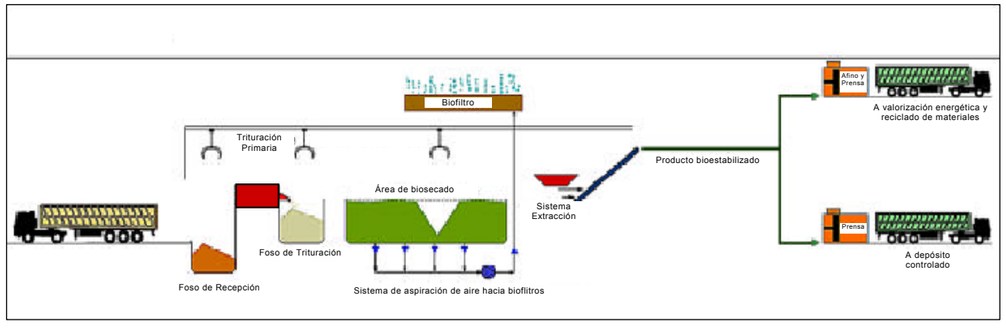
3.2.15.3. Descripció del procés.

El procés Biocubi® és un sistema modular, composat per unitats de procés complertes amb una capacitat unitària de tractament d'unes 60.000 t/any.

En el cas de necessitats de tractament superiors, la planta es dissenya amb el nombre de mòduls necessari per cobrir les necessitats de tractament, amb la particularitat que cada mòdul es construeix i s'opera independentment dels altres.

El procés Biocubi® es desenvolupa seguint les següents fases:

- Recepció dels residus.
- Trituració dels residus.
- Bioassecat dels residus.
- Afí per a la recuperació de materials i producció de CDR (fase opcional).
- Premsat / càrrega als camions.



Font: Ecodeco

Figura 103. Esquema de la instal·lació ITS®

Tota la manipulació dels residus al interior de la instal·lació es realitza a través d'un sistema compost per un conjunt de ponts grua (redundants), completament automàtics, controlats per radiofreqüència des del interior de la sala de control. Cada grua està dotada d'un cassó, dentat i electrohidràulic amb capacitat d'uns 4 m^3.

Font: Ecodeco

Figura 104. Vista general pont-grua

A continuació es descriuen les etapes del procés Ecodeco.

<u>Recepció dels residus.</u>

L'etapa de recepció consisteix en la descàrrega dels residus en la fosa de recepció. La seva capacitat correspon a la recepció estimada per a un període de 3 dies. Aquesta capacitat permet dotar a la planta d'una certa flexibilitat en el tractament de la matèria rebuda. En condicions normals de funcionament, la fosa de recepció contindrà els residus rebuts durant el interval en el qual no es realitzi trituració.

Per a evitar la propagació d'olors a l'exterior de l'edifici, així com el trànsit potencial d'insectes, es preveuen dos mesures:

- Assegurar un cert grau de depressió a l'edifici per a impedir la propagació d'olors. Es combina la depressió relativa de l'edifici amb el fet de que el flux de sortida principal d'aire de l'edifici és el biofiltre. D'aquesta forma es pretén minimitzar l'emissió de cabals d'aire que no hagin estat depurats.

- Instal·lació de sistemes de ruixat d'aigua micro-pulveritzada accionats automàticament en l'obertura de les portes de descàrrega de la fosa de recepció.

Les fosses de recepció es construeixen de manera que els camions de transport puguin descarregar sense necessitat de mecanismes addicionals, descarregant els residus mitjançant el propi contenidor del camió. Per a garantir la seguretat a la maniobra de descàrrega, es dota a les entrades de residus de portes ressaltades amb una alçada adequada que impedeixen que els camions puguin caure a la fossa.

Font: Ecodeco

Figura 105. Descàrrega dels residus

Els possibles lixiviats que es puguin produir a la zona de recepció se recolliran i enviaran conjuntament amb la resta de lixiviats de la planta, al dipòsit de lixiviats.

El cassó del pont grua alimenta de manera automàtica al triturador.

Trituració dels residus.

L'operació de trituració es realitza durant el dia sota el control d'un operari des de la sala de control, que inspecciona visualment cada descàrrega i eventualment intervé accionant manualment la grua pont per a eliminar els residus incompatibles amb el procés (com bombones de gas, blocs de ciment, pneumàtics, etc.).

El triturador és una màquina de tall electrohidràulica, de doble eix i rotació lenta, col·locada sobre un pont mòbil, que permet l'emplenat homogeni de la fosa de magatzematge.

La trituració es realitza a una grandària de 200-300 mm. amb l'objecte de homogeneïtzar el material per a millorar la fermentació, facilitant el contacte de la part orgànica dels residus amb l'oxigen de l'aire que passa a través de la massa.

Font: Ecodeco

Figura 106. Vista del interior de la instal·lació. Descàrrega, trituració i zona de biosecat

Secat biològic aerobi o biosecat.

El biosecat consisteix en l'evaporació de part de la humitat continguda als residus municipals rebuts i triturats i en l'estabilització dels mateixos. La circulació d'una corrent d'aire forçada a través de l'apilament constituït amb els residus i la calor produïda a les reaccions de degradació aeròbica de la matèria orgànica són els mecanismes principals del procés.

Aquesta reacció es produeix de manera natural sota les condicions de l'àrea de biosecat. La descomposició dels residus produeix calor i afavoreix l'evaporació de l'aigua continguda (entre un 35% - 40% en massa en la recepció).

Els residus procedents de la secció de trituració es traslladen mitjançant el pont grua fins a la secció de biosecat, dipositant-se en piles d'uns 5 metres d'alçada. Els residus romandran en les piles durant un temps de residència mig d'uns 14 dies. Uns vegada transcorregut aquest període, es considera finalitzat el procés d'estabilització.

El procés de biosecat elimina una part important de la humitat i dels patògens, així com una part de la matèria orgànica continguda als residus.

El paviment de l'àrea de biosecat està format per graelles prefabricades de formigó, perforades per a permetre el pas de la corrent d'aire. Els ventiladors situats al sostre de l'edifici creen la corrent necessària per a aspirar l'aire a través dels orificis del paviment de l'esmentada zona.

L'aire aspirat, que ha passat a través de la pila de residus, es canalitza per canonades fins al biofiltre situat a la coberta de l'edifici. El cabal d'aire arrossega la humitat i els contaminants que han de ser depurats.

Els lixiviats produïts a la zona de biosecat es recullen mitjançant una sèrie de col·lectors, conduint-los mitjançant una canonada subterrània fins al dipòsit de lixiviats.

El biofiltre actua com a sistema biològic de depuració de gasos. Els compostos són transferits de la fase gasosa a un llit sòlid a on, amb un adequat grau d'humitat, són degradats biològicament pels microorganismes presents al llit.

El procés es produeix en condicions aeròbiques i sota l'acció dels microorganismes que acaben transformant els contaminants en anhídrid carbònic, compostos volàtils i biomassa. El llit del biofiltre és una barreja de material ligni cel·lulòsic que asseguri un adequat grau de porositat i una baixa resistència al flux d'aire.

El biofiltre disposa d'un sistema continu d'humidificació i un sistema de drenatge per a eliminar l'excés d'aigua, que serà conduïda al tanc de magatzematge de lixiviats. L'àrea de biofiltre es dimensiona per a cobrir les necessitats d'extracció d'aire de la zona de biosecat i la zona de recepció/trituració.

El control del cabal d'aire comprèn la presa de dades d'humitat i temperatura. La temperatura és el paràmetre fonamental que determina el règim de funcionament dels ventiladors d'aspiració fins al biofiltre.

Afí.

Aquesta és una fase opcional, que dependrà del destí que es vulgui donar al producte de sortida de la planta. Per preparar un combustible a partir del residu estabilitzat i biosecat, es diposita el material en una tremuja situada en la secció d'afí, transportant-la mitjançant el pont grua per al seu tractament posterior.

L'etapa d'afí comprèn l'extracció dels metalls fèrrics mitjançant una cinta transportadora magnètica (extracció de metalls fèrrics) i un equip de corrents de Foucault (extracció d'alumini i metalls no fèrrics).

Una vegada extrets els metalls, existeixen diverses configuracions de preparació, en funció de les característiques del producte final desitjat. Habitualment la barreja s'introdueix en un trommel, amb l'objectiu de separar el rebuig i el producte final. En aquest garbell giratori es separen els compostos de granulometria superior a 10-12 cm.

Aquests rebuigs estan compostos per plàstics o teixits no fragmentats i trossos gruixuts de gomes, fusta, vidres, etc. La fracció fina, de diàmetre mig inferior a 1-2 cm, es pot separar en un segon trommel de garbellat.

Després del garbellat, el material seleccionat per a formar el CDR es tritura a la grandària requerida segons el destí final de l'esmentat CDR (cimenteres, valorització energètica, etc.), mentre que la fracció fina es tracta com a rebuig del procés.

Font: Ecodeco

Figura 107. Zona d'afí i producció de CDR

La secció d'afí es dota d'un sistema d'aspiració per a l'eliminació de pols a través d'un filtre de mànigues.

Premsat i càrrega en camions.

El CDR es condueix mitjançant una cinta transportadora fins a la premsa electrohidràulica que el compacta, donant lloc a un material de major densitat que facilita el seu transport.

En el cas de que no s'hagi preparat combustible, el que es premsa és el conjunt del producte biosecat, una vegada retirats els metalls presents en el flux, amb l'objecte de que es pugui dipositar en un abocador en unes condicions higiènic-sanitàries més favorables que les del residu sense tractar.

En aquest cas el procés que es segueix és el següent: el residu és transportat automàticament per la grua pont i descarregat al interior d'una tremuja dotada d'una cinta metàl·lica d'extracció (*redler*).

La cinta transportadora envia el residu biosecat a la zona de recuperació de metalls. Una vegada s'han extret els metalls s'envia directament a una premsa, preparant el residu per al seu posterior transport.

3.2.15.4. Avantatges i inconvenients.

Avantatges	Inconvenients
– Nombroses plantes TMB a escala industrial tractant RM. – Sistema relativament simple. – El CDR s'està utilitzant a cimenteres i a plantes de valorització energètica amb llit fluid.	– El producte biosecat no està completament bioestabilitzat, el que podria suposar un problema si el CDR s'ha d'enviar a dipòsit controlat. – No està clara la comercialització del CDR.

3.2.15.5. Rendiments del procés. Balanços de masses.

Després del procés de tractament al que seran sotmesos els residus, s'obtindran clarament les següents fraccions diferenciades:

– Metalls. Aquests metalls podran reciclar-se d'acord als processos habituals.

- Residu biosecat estabilitzat. Aquest residu biosecat té unes característiques que permeten la seva disposició controlada evitant alguns dels possibles impactes derivats de la disposició de residus no tractats.

Si s'instal·la l'opció d'afí per a preparar CDR, les fraccions que s'obtenen seran:

- Metalls. Aquests metalls podran reciclar-se d'acord als processos habituals.

- CDR. Aquest CDR posseeix un alt poder calorífic i pot ser valoritzat energèticament, primordialment en cimenteres i quan la legislació així ho prevegi.

Ecodeco informa que les característiques principals del CDR permeten complir amb els límits establerts a Itàlia[29] en aquest tipus de combustibles i es pot resumir a la següent taula:

Paràmetre	Valor
Poder Calorífic	≥ 15.000 kJ/kg
Cendres	≤20% base seca
Humitat	≤20% base humida
Cl	<0,9% base humida
Cl	<1,13 base seca
S	<0,6% base humida
S	<0,75% base seca
Pb volàtil	< 200 mg/kg base seca
Cu soluble	<300 mg/kg base seca
Cr total	<100 mg/kg base seca
Ni	<40 mg/kg base seca
Mn	<400 mg/kg base seca
Cd+Hg	<7 mg/kg base seca
As	<9 mg/kg base seca

Taula 46. Característiques del CDR. Procés Ecodeco

- Rebuig biosecat. Aquest rebuig biosecat té unes característiques que permeten la seva disposició controlada evitant alguns dels possibles impactes derivats de la disposició de residus no tractats.

Durant les successives fases del procés de biosecat i afí del material bioestabilitzat, s'obtenen materials de rebuig difícilment valoritzables una vegada separats del conjunt de residus municipals.

El rebuig procedeix de dues fonts principalment:

- Elements voluminosos detectats a la fossa de recepció i eliminats del procés mitjançant l'operació manual del pont grua per l'operari que controla visualment els residus. Aquests elements seran gestionats, depenent de la seva tipologia, de la manera més adequada.

- Fracció fina eliminada en el procés d'afí mitjançant trommel.

El rebuig d'aquestes dues fraccions està constituït per elements diversos dels residus urbans. Donada la seva procedència, gran part del rebuig estarà format majoritàriament per materials com vidres, terres, teles, enderrocs, és a dir, materials inerts.

Ecodeco informa que el residu biosecat estabilitzat, com el rebuig biosecat, degut a les seves característiques, compleixen l'establert al "*Real Decret 1481/2001, de 27 de Desembre, pel que es regula l'eliminació de residus mitjançant disposició a abocador*", respecte amb els residus que podran admetre's a les diverses classes d'abocadors.

Ecodeco informa que el procés de bioestabilització garanteix el compliment d'un Índex Dinàmic de Respiració per sota de 1.000 mg O_2/h kgSV.

[29] UNI 9903-3.

S'exposa a continuació el balanç de masses del procés:

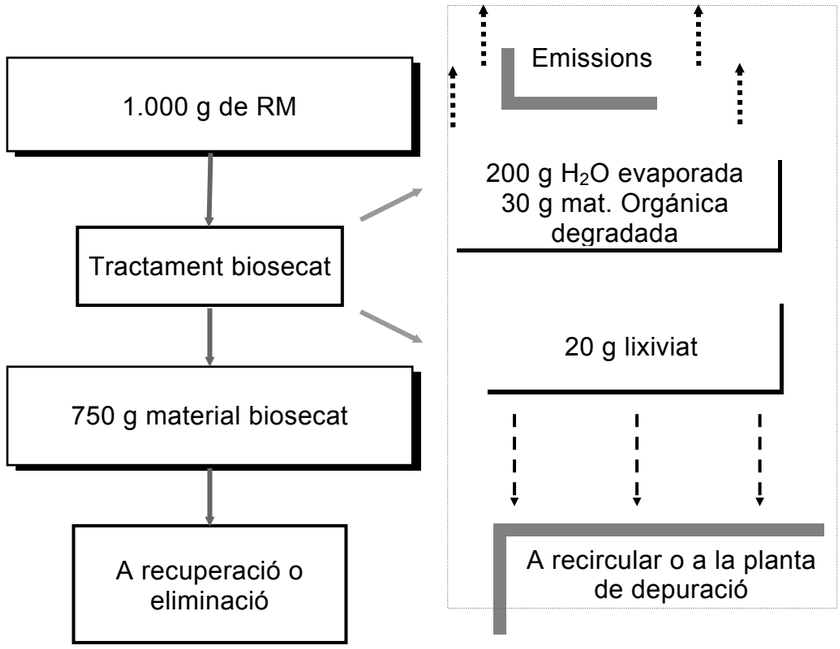


Figura 108. Balanç de masses procés Ecodeco

Les pèrdues de massa es concreten en tres aspectes diferents:

- Pèrdues en l'evaporació d'humitat.....20%
- Pèrdues en la degradació de matèria orgànica..... 3%
- Pèrdues per lixiviació dels residus..... 2%

Total pèrdues massa inicial 25%

Les pèrdues de massa es materialitzen en el producte biosecat i constitueixen part dels efluents de la planta. En aquest sentit, l'aigua evaporada i els productes de la degradació de la matèria orgànica s'incorporen a la corrent d'aire utilitzada en l'assecat dels residus, que es condueix al biofiltre. Per altra banda, els lixiviats es recullen de l'àrea de recepció i biosecat i es condueixen fins al dipòsit de lixiviats.

El residu, després del procés de biosecat, constitueix un material estabilitzat i heterogeni sobre el que es puguin realitzar operacions posteriors de triatge i separació. Quan finalitza aquest procés, el material es trasllada a l'àrea d'afí. Durant l'afí es procedeix a separar les diferents fraccions.

Del conjunt del material estabilitzat es separen els metalls fèrrics i no fèrrics. El material lliure de metalls es separa en dues fraccions en funció de la grandària dels seus components.

La fracció inferior constitueix el material de rebuig. La fracció superior pot ser valoritzada com a combustible en funció de la legislació aplicable.

Respecte al total de la massa inicial, sense considerar les pèrdues cadascuna de les parts separades representa el següent percentatge del total:

- CDR – AMABILIS®[30]:.....50%
- Metalls fèrrics:.....4%
- Metalls no fèrrics:.....1%
- Rebuig: 20%

Amb aquestes dades, el potencial de desviació de residus amb destinació final a dipòsit controlat (en massa) és el següent:

Potencial de derivació	Mínim, %	Màxim, %	Base d'estimació
Percentatge del residu d'entrada al procés que pot desviar-se de dipòsit controlat	Aprox. 30	Aprox. 80	Min: CDR a dipòsit controlat, rebuig a dipòsit controlat. Màx.: CDR a valorització energètica, rebuig a dipòsit controlat
Notes: No es disposa de dades de la biodegradabilitat dels fluxos del procés Com a escenari més desfavorable, s'ha considerat que la fracció inert no es recicla i s'envia a dipòsit controlat			

3.2.15.6. Impactes ambientals.

- Sistema de tractament de l'aire: Com s'ha indicat anteriorment, els gasos de sortida del procés són depurats a biofiltres. Els gasos procedents de l'afí del CDR passen en primer lloc per un filtre de mànigues abans d'enviar-se als biofiltres.

[30] Nom comercial d'Ecodeco pel CDR obtingut al seu procés.

Ecodeco informa que els sistemes de depuració es dissenyen per a garantir les següents condicions d'emissió, a condició que la planta sigui operada correctament:

- Olors (biofiltre) < 300 uo/Nm^3
- Pols (filtre de mànigues) < 10 mg/Nm^3
- Amoníac < 5 mg/Nm^3
- Àcid sulfhídric < 5 mg/Nm^3

Figura 109. Biofiltre col·locat al sostre de la planta

- Tractament d'aigües residuals del procés: El procés de biosecat produeix una quantitat relativament petita de lixiviat (aprox. 1% del residu d'entrada a la planta). Als biofiltres també es produeix una certa quantitat de lixiviat, principalment per l'aigua de pluja. Donada la baixa quantitat de lixiviat generat, aquest és transportat i tractat a plantes externes.

- Ocupació d'espai i impacte visual: Ecodeco informa per una planta de 70.000 t/any que la superfície requerida és d'uns 10.500 m^2 (dels quals aproximadament un 42% correspon als vials i superfície exterior). Amb això, es pot estimar un rati d'ocupació d'espai de 0.15 m^2 / t/any.

  Els edificis de cada mòdul de biosecat (60.000 t/any) tenen una alçada màxima de 12-15 m.

3.2.15.7. Costos.

El cost d'inversió (construcció) per una planta amb capacitat de 240.000 t/any de RESTA (sense l'etapa opcional de refí per a produir CDR) és d'uns 50.000.000 €.

3.2.15.8. Referències.

Les referències d'Ecodeco per instal·lacions TMB per al tractament de RM són les següents:

Any (posta en marxa)	Ubicació	Capacitat (t/any)
Febrer 1996	Giussago, Itàlia	40.000
Setembre 1996	Corteolona, Itàlia	80.000
Desembre 1998	Bèrgamo, Itàlia	60.000
Maig 2000	Montasano, Itàlia	60.000
Novembre 2002	Lacchiarella, Itàlia	60.000
Maig 2003	Cavaglia, Itàlia	120.000
Juny 2004	Villafalletto, Itàlia	60.000
2005-2006 (en construcció)	Londres (Frog Island), Regne Unit	180.000
2005-2006 (en construcció)	Londres (Jenkins Lane), Regne Unit	180.000
2005-2006 (en construcció)	Dumfries&Galloway, Regne Unit	60.000
2006 (adjudicada)	Castelló, Espanya	70.000

Taula 47. Referències d'Ecodeco a plantes TMB

3.2.15.9. Resum. Conclusions.

- Ecodeco té una àmplia experiència d'operació del seu procés de biosecat amb 7 plantes a Itàlia (la majoria operades també per Ecodeco).

- Actualment té vàries plantes en construcció al Regne Unit, més una altra adjudicada a Espanya, a Castelló.

- Als casos on sigui viable la comercialització del CDR produït, el sistema d'Ecodeco seria una de les referències més representatives.

4. TRACTAMENTS D'AIGÜES RESIDUALS.

Les aigües residuals de procés generades a les plantes TMB poden tenir diferents orígens segons les característiques dels processos com:

- Efluents o lixiviats dels processos de digestió anaeròbia.
- Efluents o lixiviats dels processos de compostatge/estabilització aeròbia.
- Condensats dels processos de secat biològic aerobi ("biodrying").

<u>Efluents de digestió anaeròbia.</u>

Tot i que els sistemes de digestió anaeròbia es poden operar per a reduir la càrrega de DQO (Demanda Química d'Oxigen), aquests generalment operen per a maximitzar la producció de metà, generant-se un efluent final del procés de digestió amb més concentració contaminant que els efluents o lixiviats dels processos aerobis.

Les espècies dels compostos presents són similars a les dels processos aerobis, però el volum de líquid excedentari és molt més alt.

La quantitat d'aigua residual del procés depèn de nombrosos factors (contingut d'humitat i composició del residu d'entrada, grau de biodegradació, cabal de recirculació, grau de deshidratació del digestat, digestió via humida o seca, etc.).

A la taula següent es presenta la composició típica dels efluents de la digestió anaeròbia humida i seca:

Paràmetre	Unitats	Sistemes secs	Sistemes humits
DQO	mg O_2/l	20.000 – 40.000	6.000 – 24.000
DBO_5	mg O_2/l	5.000 – 10.000	2.500 – 5000
N total	mg N/l	2.000 – 7.000*	800 – 2.500*
Conductivitat*	µS / cm	< 48.000*	< 20.000

Font: Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries. Final Draft 2005. European Commission. * Elaboració pròpia.

Taula 48. Composició típica dels lixiviats dels processos de digestió a plantes TMB

Els efluents dels processos de digestió seca tendeixen a tenir una concentració de contaminants més gran que als processos de digestió humida, donat que als de digestió humida hi ha més recirculació d'aigua.

Efluents de compostatge/estabilització aeròbia i secat biològic.

Els efluents dels processos de compostatge o estabilització aròbia són netament deficitaris d'aigua, donat que es tracta d'un procés exotèrmic on s'emeten grans quantitats d'aigua. En cas de que es produeixin efluents excedentaris, aquests solen ser limitats i intermitents.

A la taula següent es presenta la composició típica dels efluents d'un procés de compostatge.

Paràmetre	Factor de generació (kg/t RM)	Concentració (mg/l)
Cabal	260 – 470	
COT		40
DQO	0,457	120 – 200
DBO_5		20 – 25
Hidrocarburs		10 – 20
BTEX		0,1
AOX		0,5
Clorurs	0,152	
N total		70
P total		1 – 3

Font: Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries. Final Draft 2005. European Commission.

Taula 49. Composició típica dels lixiviats dels processos de compostatge

Als processos d'assecat biològic aerobi ("biodrying") s'emeten gran quantitats d'aigua en forma de vapor (fins a 350 litres per tona de residus). Durant el procés aerobi s'arriba a temperatures de 50 – 60ºC. Així, la pèrdua d'aigua del residu és realitza com a vapor d'aigua (aprox. 90%) a l'aire. En ocasions, aquesta aigua es condensa i es tracta per a la seva reutilització com a aigua de reposició del circuit de condensació.

Es presenten a continuació algunes de les tecnologies i processos representatius de tractament de les aigües residuals a plantes de tractament mecànic-biològic.

4.1. Reactor Discontinu Seqüencial (RDS).

El Reactor Discontinu Seqüencial (RDS), o *Sequencing Batch Reactor* (SBR) en anglès, és un sistema de tractament de fangs actius que opera mitjançant un procediment d'omplerta-buidat.

En aquest tipus de reactors, l'aigua residual és addicionada en un sol reactor que treballa per càrregues repetint un cicle (seqüència) al llarg del temps. Una de les característiques dels SBR és que totes les diferents operacions (omplerta, reacció, sedimentació i buidat) es donen en un mateix reactor.

Els processos SBR presenten com avantatges uns baixos costos d'inversió i operació, essent un procés senzill, flexible, de baix manteniment i adaptable a situacions canviants de l'entrada i sortida.

En els casos de falta d'espai, una implantació vertical junt am una optimització de la implantació dels equips mecànics, permet un millor aprofitament de la superfície disponible.

En els últims temps s'està aplicant la tecnologia SBR també per a la depuració d'aigües amb alta càrrega amoniacal com p.e.: lixiviats d'abocador o de processos de digestió de residus a plantes de tractament mecànic-biològic. El procés està especialment indicat quan es té com a objectiu l'eliminació del nitrogen i sempre que els paràmetres d'abocament de l'efluent depurat no siguin molt exigents.

Figura 110. Reactors SBR

4.2. Bioreactors de membrana (BRM).

L'eficàcia dels processos biològics depèn de dos factors principals: la concentració de biomassa en el reactor i la relació de transformació específica dels microorganismes.

La majoria dels intents de millora dels processos biològics han tingut com objectiu augmentar la concentració de microorganismes en el bioreactor, ja sigui separant els sòlids i líquids i després recirculant la biomassa (llot activat), o bé desenvolupant reactors de cultius fixes en els que els microorganisme es fixen a un suport.

Els últims desenvolupaments d'una nova generació de membranes d'UF i MF més productives i menys costoses han fet que es desenvolupés més avançat de tractament biològic: el bioreactor de membrana (BRM).

Així, un bioreactor de membrana es pot definir com la combinació de dos processos, degradació biològica i separació per membrana, en un únic.

La membrana pot acoblar-se al biològic externament o de forma interna, submergint-les en el propi reactor.

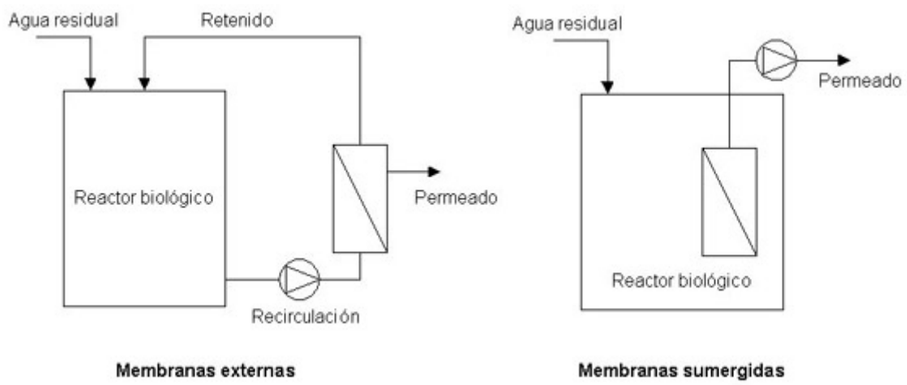


Figura 111. Principi de funcionament BRM amb membranes externes i submergides

Els casos especialment indicats per a la tecnologia BRM són els següents:

En quant al tipus d'aigua:

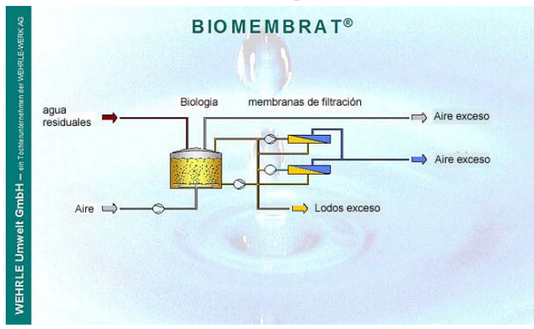
- Aigües de difícil o lenta biodegradabilitat.
- Aigües carregades (elevada DQO). Sistema adequat per baixos o relativament baixos cabals.

En quant a altres condicionants:

- Abocament a llera pública o zones sensibles (necessitat d'una alta qualitat d'abocament). Interès en reutilització del aigua tractada.
- Falta d'espai. El BRM requereix aproximadament entre 2 i 5 vegades menys volum que qualsevol reactor convencional (inclosos els reactors SBR).
- Necessitat de reduir la producció de fangs (cost gestió de fangs).
- Ampliació de plantes ja existents (amb una implantació molt senzilla es pot arribar a triplicar la capacitat de tractament de sistemes convencionals).

Els processos amb bioreactor de membrana estan formats per les següents parts:

- Una pre-filtració per a la reducció dels sòlids de l'aigua a depurar.
- Una biologia activada amb desnitrificació, nitrificació i post-desnitrificació.
- Una ultrafiltració per a la separació complerta de la biomassa de l'aigua depurada.
- Opcionalment, com a tractament terciari pot ser necessària una etapa d'osmosi inversa per a la reducció dels contaminants no biodegradables.



Font: Werhle Umwelt

Figura 112. Esquema d'un procés BRM (Biomembrat® de Wehrle Umwlet)

Les diferents etapes del procés són les següents:

Prefiltració.

L'aigua a depurar es recollida i emmagatzemada en un tanc d'entrada. Des d'aquest tanc d'entrada, es bombeja l'aigua per un filtre de fins autonetejant per a separar en la major mesura possible els sòlids que pugui encara contenir l'aigua a depurar.

És molt important que la concentració de sòlids en suspensió de l'aigua a tractar es mantingui per sota dels valors màxims admissibles per la biologia.

Eliminació de compostos carbonosos.

Després de la prefiltració es condueix l'aigua a l'etapa de desnitrificació del procés. Les matèries carbonoses biodegradables contingudes en l'aigua a depurar, s'utilitzen per a la desnitrificació dels nitrats.

Depenent del contingut de matèria orgànica carbonosa en l'aigua a depurar (en forma de DBO_5) i com a font carbonosa addicional s'utilitza metanol, aquest es troba al tanc de metanol integrat a la planta i es dosifica tant a la desnitrificació com a la post-desnitrificació. Aquest serveix per a garantir el grau de desnitrificació.

Eliminació de compostos nitrogenats.

En relació a l'eliminació de l'amoni, el procés biològic aplicat es denomina de nitrificació / desnitrificació.

L'amoni (NH_4-N) que es troba als efluents a tractar prové del nitrogen orgànic contingut en determinades fraccions del residus municipals, per exemple, a les urees, proteïnes o aminoàcids que en un mitjà anaeròbic sofreixen processos d'amonificació, així com l' assimilat en compostos orgànics com a microorganismes.

El nitrogen als efluents residuals es poden trobar en diverses formes:

- Com a paràmetre suma als compostos de nitrogen total (N_{total}) format per la suma del nitrogen orgànic ($N\text{-}N_{org}$) i el nitrogen inorgànic.

- El nitrogen inorgànic està fixat als següents compostos:

  - Amoni NH_4-N
  - Nitrits NO_2-N
  - Nitrats NO_3-N

Per altra banda, es troba el nitrogen total Kjeldhal (NTK) que és la suma del nitrogen orgànic i el nitrogen amoniacal d'un aigua residual.

Els mecanismes principals per a l'eliminació del nitrogen son l'assimilació i la nitrificació / desnitrificació. Donat que el nitrogen és un nutrient, els microorganismes presents als tractaments biològics, assimilen el nitrogen amoniacal per a incorporar-ho a la massa cel·lular. Una part d'aquest nitrogen amoniacal retorna a l'aigua residual al morir les cèl·lules.

Als processos de nitrificació / desnitrificació, l'eliminació del nitrogen té lloc en varies etapes:

- Nitrificació.

L'amoni per oxidació i amb l'acció de les bactèries nitrosomes, redueixen, l'amoni a un producte intermedi: nitrits. Els nitrits, a la vegada, són transformats per la acció de les bactèries nitrobacter en nitrats. Durant la nitrificació es produeix una reducció de l'alcalinitat.

La reacció controlada és la següent:

$$NH_4\text{-}N + O_2 \rightarrow NO_2\text{-}N + H_2O + 2H+$$
$$NO_2\text{-}N + O_2 \rightarrow NO_3\text{-}N$$

Assimilació de nitrogen a les bactèries (nutrient bàsic cel·lular).

$$NH_4\text{-}N + O_2 + CO_2 + HCO_3\text{-} \rightarrow C_5H_2O_2N + NO_3\text{-}N + H_2O + H^+$$

- Desnitrificació.

Els nitrats formats en la nitrificació amb l'aportació d'una bactèria carbonosa, són reduïts al desnitrificador (anòxia) a nitrogen molecular en forma gasosa (inclou al medi al ser un compost majoritari a l'aire).

$$NO_3\text{-}N + [H] \rightarrow N_2\ (g) + O_2 + H_2O$$

- Desnitrificació amb la dosificació de metanol.

$$NO_3\text{-}N + CH_3 – OH + H+ \rightarrow C_3H_7O_2N + N_2 + CO_2 + H_2O$$

Les bactèries esmentades són organismes sensibles i susceptibles de ser inhibides per una gran varietat d'inhibidors, com són l'amoníac a un pH alcalí o àcid nitrós a un pH àcid.

La sortida de la desnitrificació es condueix a un tanc de nitrificació posterior. El reactor de nitrificació està equipat amb una alimentació d'aire a pressió. L'aireació de la nitrificació es realitza amb un sistema especial d'ejectors d'aire. Amb això s'aconsegueix a la biologia activada una suficient concentració d'aire malgrat de les altes concentracions de biomassa. L'aire comprimit necessari per a l'aireació, s'obté per mitjà dels bufadors. El contingut d'oxigen en la nitrificació es regula de forma automàtica.

Quan es requereixen límits d'abocament a llera pública, és necessària la quasi eliminació total dels nitrats. Per poder realitzar la instal·lació el més compacta possible i per a simplificar la planta en la mesura del possible s'instal·la una post-desnitrificació/aireació addicional després del reactor de nitrificació.

Ultrafiltració: Separació de la biomassa.

En contraposició als tractaments biològics convencionals per a la depuració d'aigües, la separació de la biomassa del fluït depurat no té lloc mitjançant sedimentació en un tanc clarificador posterior sinó a través d'una filtració per membranes. Amb això s'aconsegueix una retenció total de la biomassa.

Les bactèries i les substàncies contaminants absorbides al fang actiu es mantenen de forma segura al sistema. Amb el procés s'aconsegueixen altes concentracions de biomassa i una alta transformació de la matèria especifica en relació a l'espai.

La filtració per membranes està composta per carrers de mòduls de membranes. L'adequació del filtrat al cabal de la planta es realitza posant en marxa o parant els carrers de mòduls i quan sigui necessari mitjançant la recirculació del permeat a la biologia.

Amb la separació de la biomassa per mitjà d'un filtració amb membranes s'aconsegueixen concentracions de biomassa de 3 a 10 vegades superiors als sistemes convencionals. Per això el volum de reacció necessari per a la biologia es redueix considerablement. Amb el augment de la matèria seca al reactor, s'aconsegueixen instal·lacions molt compactes i que necessiten poc espai.

Amb la retenció de la totalitat de la biomassa en la ultrafiltració, els processos biològics de depuració es realitzen sota millors condicions d'estabilitat, fiabilitat i rendiment,
L'efluent de sortida de la ultrafiltració està lliure de gèrmens i bactèries. El permeat està lliure de sòlids en suspensió; aquesta circumstància permet la preparació de l'efluent com aigua d'alta qualitat per a la seva reutilització o, si es requereix, per al seu tractament posterior, ja sigui mitjançant carbó actiu (per a la reducció de la DQO com es realitza en diverses plantes de TMB a Alemanya[31]) o mitjançant osmosi inversa (p.e. per a la reducció de la salinitat i DQO residual). Un altre avantatge d'ultrafiltració és que la separació dels fangs activats és independent de les seves característiques de sedimentació, de manera que es garanteixi la seva recollida beneficiant i estabilitzant el procés.

Las característiques generals d'aquesta etapa son les següents:

Membrana	membrana tubular
tall de separació de la membrana	ultrafiltració
consums específics d'energia de la instal·lació	2,5 – 6 kWh/m³
rendiment de filtració	70 – 180 l/(m²·h)
concentració de sòlids en la biologia	15 – 35 kg/m³
Consum específic per superfície	200 – 1.000 W/m² superfície de membranes

Taula 50. Característiques típiques de l'etapa d'ultrafiltració

Amb la filtració per membranes a banda de la biomassa es retenen una gran quantitat de partícules contaminants. Aquests compostos de molècules de cadenes llargues són retingudes, pel que amb l'augment de temps de retenció al sistema, es fan accessibles a la biologia, facilitant la seva regeneració.

Donada la gran activitat de caràcter exotèrmic que es produeix en aquest procés biològic, és necessari extraure la calor originada, mitjançant sistema de refrigeració apropiada per a la biologia.

Donada l'aireació intensiva necessària per a la alimentació metabòlica de la biomassa, es produeixen a la nitrificació escumes, les quals són eliminades amb un sistema de dosificació d'antiespumant.

[31] En cas de que no n'hi hagi requeriments per conductivitat i/o clorurs per l'abocament.

Així, a la sortida de la ultrafiltració es pot esperar un aigua amb les següents característiques:

Paràmetre	Unitats	Valor
DQO	mg / l	2.000 – 3.000
DBO_5	mg / l	< 50
NH_4 (base N)	mg / l	< 50
Conductivitat total	µS / cm	4.000 – 22.500

Taula 51. Característiques típiques d'un permeat d'etapa d'ultrafiltració

Els avantatges que s'aconsegueixen utilitzant la tecnologia BRM front als sistemes convencionals són:

- Major qualitat del aigua tractada.
- Mínima producció de fangs. Produccions similars a sistemes anaerobis.
- Estabilitat. Qualitat del permeat estable amb independència de pics de càrrega.
- Compacitat. Mínim requeriment d'espai.
- Modularitat. Sistemes fàcilment ampliables sense necessitat de reformes ni ampliació de reactor biològic.
- Manteniment. Sistemes molt automatitzats, manteniment mínim.
- Eliminació de bulking i escumes d'origen filamentós.

4.3. Sistemes de membrana: Ultrafiltració, nanofiltració, osmosi inversa.

La tecnologia de la membrana és un terme genèric per a una sèrie de processos de separació diferents i molt característics. Aquests processos són del mateix tipus perquè en tots ells s'utilitza una membrana.

Com s'ha esmentat anteriorment, les membranes s'utilitzen en diferents etapes dels processos de tractament de les aigües residuals a les plantes TMB, per exemple:

- A l'etapa de separació de la biomassa en bioreactors de membrana (BRM) s'usen membranes d'ultrafiltració.
- En el tractament terciari mitjançant membranes d'osmosi inversa dels efluents d'un procés biològic p.e. SBR o MBR amb l'objecte d'aconseguir els paràmetres d'abocament a llera pública o clavegueram.
- En el tractament dels lixiviats dels processos TMB mitjançant membranes d'osmosi inversa.

En tots els casos, el principi és bastant simple: la membrana actua com a filtre molt específic que deixarà passar l'aigua, mentre que reten els sòlids suspesos i altres substàncies contaminants.

La membrana funciona com una paret de separació selectiva. Certes substàncies poden travessar la membrana, mentre que altres queden atrapades en ella.

Hi ha dos factors que determinen l'efectivitat d'un procés de filtració de membrana: selectivitat i productivitat.

La selectivitat s'expressa mitjançant un paràmetre anomenat factor de retenció o de separació (expressat en l/m^2 h).

La productivitat s'expressa mitjançant un paràmetre anomenat flux (expressat en l/m^2 h).

La selectivitat i la productivitat depenen de la membrana.

Les tecnologies de filtració de membrana es poden dividir en micro i ultrafiltració per una banda i en nanofiltració i osmosi inversa per l'altra.

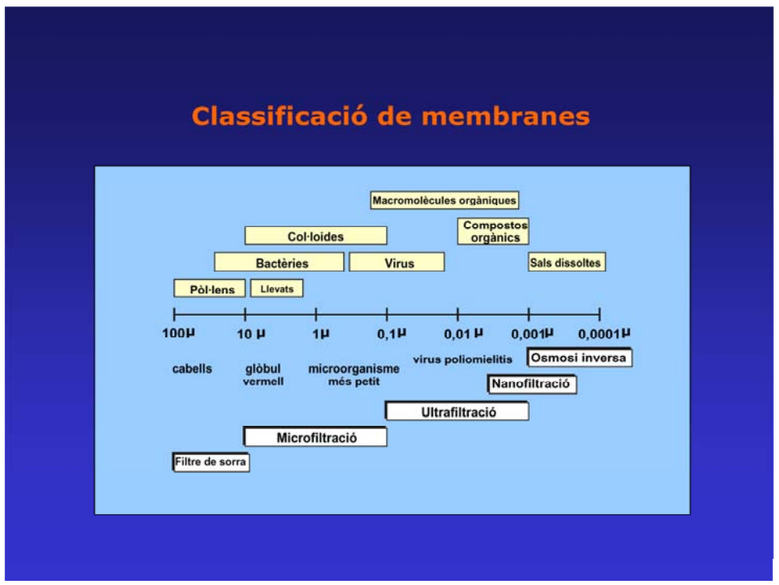


Figura 113. Classificació de membranes

Quan la filtració de membrana s'utilitza per a retirar partícules més grans, s'apliquen la microfiltració i la ultrafiltració. Degut al caràcter obert de les membranes la seva productivitat és alta mentre que les diferències de pressió són baixes.

Quan es necessita requereixen elevats rendiments de reducció de DQO, compostos nitrogenats i/o salinitat, s'apliquen la nanofiltració i, més habitualment a plantes TMB, l'osmosi inversa.

La nanofiltració i les membranes d'osmosi inversa no actuen segons el principi de porositat; la separació passa per difusió a través de la membrana. La pressió requerida per a realitzar la nanofiltració i l'osmosi inversa és molt més alta que la requerida per a la micro i ultra filtració, mentre que la productivitat és molt més baixa.

Font: Hasse

Figura 114. Instal·lació de tractament d'efluents de digestió humida amb membranes UF/OI

De l'etapa d'osmosi inversa s'obtenen dues corrents:

- Un corrent depurat que representarà, típicament, entre un 70-75% del cabal d'entrada a osmosi apte per abocament a llera pública o xarxa de clavegueram, i que pot reutilitzar-se com a aigua de serveis a la planta.

- Un concentrat que representarà, típicament, entre un 30-35% del cabal d'entrada a osmosi que segons els casos, es retorna a procés o s'envia a gestor autoritzat. Alternativament, aquest concentrat podria passar per una etapa final d'evaporació i/o assecat per reduir el volum a transportar, utilitzant p.e. l'aprofitament del calor residual del motors de biogàs.

4.4. Processos d'evaporació i tractament biològic.

Existeixen al mercat algunes tecnologies que combinen processos d'evaporació amb tractament biològic, com per exemple, el Biodestil® [32]. Aquest és un sistema de depuració per efluents amb altes càrregues contaminants.

[32] De l'empresa MP.

El procés Biodestil® presenta dues etapes fonamentals de tractament en sèrie: etapa d'evaporació forçada a buit i etapa biològica aeròbia. No obstant, i en funció a les característiques particulars del abocament a tractar i/o els requisits de qualitat de l'aigua tractada exigits, es poden incorporar addicionalment altres etapes opcionals.

En aquest cas, el lixiviat a tractar es bombeja a una secció d'alimentació, que serveix com a tanc d'alimentació de l'etapa d'evaporació. En aquest tanc es realitzen les dosificacions de reactius químics necessaris per a una correcta evaporació.

El lixiviat condicionat entra a l'evaporador a on l'aigua i tots aquells contaminants volàtils a les condicions de pressió i temperatura de l'evaporador, s'evaporen i passen a la següent etapa de condensació.

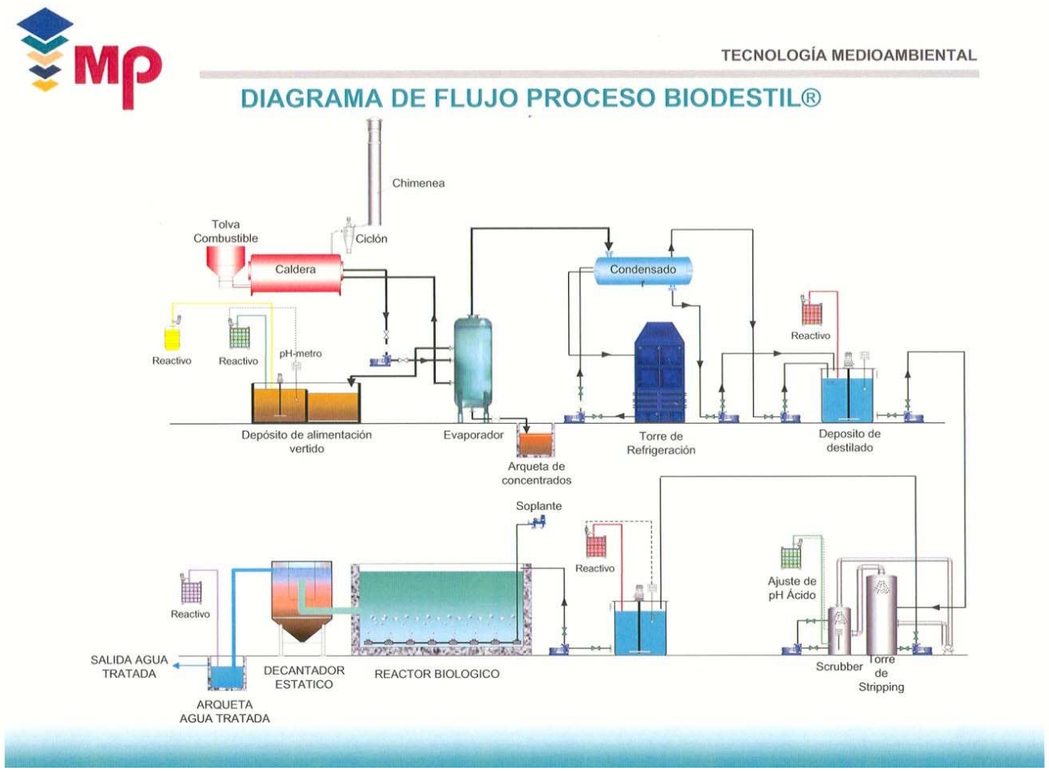
Els contaminants no volàtils queden retinguts al cos d'evaporació a on es van concentrant fins que s'arriba al punt adequat d'extracció. Aquesta extracció es realitza automàticament en cicles de temps per la part inferior de l'evaporador, començant un nou cicle de concentració.

L'abocament obtingut després de l'anterior etapa arriba al tanc d'alimentació i passa posteriorment a un reactor biològic.

L'aigua obtinguda després de les etapes de tractament descrites és enviada a la torre de refrigeració com a reposició de les pèrdues d'aigua en la mateixa. Tant les purgues de torre com del tanc d'acumulació final d'aigua tractada són enviats al punt d'abocament.

El procés Biodestil® es composa de les següents seccions:

- Secció tèrmica.
- Secció d'alimentació.
- Secció d'evaporació i condensació.
- Secció refrigeració.
- Secció de stripping/*scrubber*.
- Secció biològica.



Font: MP

Figura 115. Diagrama de flux del procés Biodestil® de MP.

<u>Secció tèrmica.</u>

La secció tèrmica genera el fluid calefactor (aigua calent) necessària per a aconseguir l'ebullició del lixiviat o efluent a tractar.

Al procés el fluït calefactor, per exemple, s'obté aprofitant els gasos de combustió generats en una caldera mitjançant la combustió d'un combustible. Els combustibles utilitzats són de diverses natures, i en general son de caràcter sòlid aprofitant algun tipus de biomassa com, pinyol d'oliva, closques d'ametlles, serrí, etc, encara que poden ser combustibles convencionals com gasoil o gas natural.

El consum de calor per a l'evaporació de l'efluent residual és elevat (entorn a 800 kcal/l), motiu pel que el procés és més recomanable sempre que es disposi d'una font de calor excedentària, per exemple, gasos de combustió o aigua calenta del circuit de refrigeració dels motors de biogàs.

Secció d'alimentació.

Una bomba d'alimentació instal·lada a la balsa d'acumulació de l'aigua residual alimenta un dipòsit que constitueix l'alimentació a l'evaporador.

L'alimentació des d'aquest dipòsit a l'evaporador es realitza de forma contínua com a conseqüència del buit generat al interior de l'evaporador.

En aquesta secció d'alimentació es realitzen les dosificacions dels reactius adequats en funció de les característiques de l'aigua residual per a la optimització del rendiment i funcionament del procés d'evaporació. Aquestes dosificacions es realitzen de forma automàtica. Tanmateix, i en funció de la natura del vessament, es pot realitzar una etapa de tamisat previ a l'alimentació de l'evaporador.

L'alimentació des del tanc d'alimentació a l'evaporador de doble càmera al propi evaporador, es realitza de forma contínua com a conseqüència del buit generat al interior de l'evaporador, que provoca l'aspiració de vessament des de la segona càmera del tanc d'alimentació.

A la primera càmera del tanc d'alimentació es realitza la dosificació automàtica dels reactius necessaris per a optimitzar el rendiment i funcionament del procés d'evaporació.

Per a millorar la reacció d'aquests reactius químics, la primera càmera està agitada mitjançant un agitador vertical.

Aquest agitador està enclavat al funcionament de les bombes de dosificació de reactius.

En concret es realitzen les següents dosificacions:

- Dosificació d'antiespumant: Aquesta dosificació es realitza per a evitar la formació d'espumes al interior de l'evaporador que afectarien a la qualitat del destil·lat notablement.

- Dosificació d'antiincrustant: Aquesta dosificació es realitza per a evitar la incrustació al interior de les canonades de bescanvi de calor a dins de l'evaporador.

- Dosificació d'àcid: La dosificació d'àcid es realitza per a desplaçar la reacció d'equilibri entre l'amoni i l'amoníac fins a l'espècie amoni, que presenta un rendiment superior de fixació a l'evaporador al quedar retingut com una sal.

$$NH_3(g) + H^+ \rightarrow NH^+_4$$

El control de la dosificació de l'àcid es realitza mitjançant un pH neutre en el que es fixa un valor. La bomba de dosificació d'àcid introdueix reactiu sempre que el pH estigui per sobre de l'esmentat valor.

Secció evaporació i condensació.

En aquesta secció, l'evaporador rep un flux de calor provinent de la secció tèrmica, evaporant-se l'aigua i totes aquelles substàncies volàtils en les condicions de temperatura i pressió de l'evaporador. Aquestes substàncies en forma de vapor abandonen a l'evaporador per la part superior i passen al condensador a través d'una canonada de connexió entre ambdós.

En el condensador, el vapor transmet la seva calor a un fluït refrigerat, provinent del circuit de refrigeració, condensant-se al procés. El condensat obtingut s'extreu del condensador mitjançant una bomba que aspira del fons del propi condensador.

El nivell del líquid a l'evaporador es controlat per un nivell mecànic per a que la operació d'evaporació es realitzi adequadament. L'evaporació es realitza de forma continua, de manera que el nivell de líquid al interior de l'evaporador disminueix a mesura que es va realitzant l'evaporació i es reposat contínuament per l'acció del dispositiu de nivell.

La secció d'evaporació i condensació es troba en buit, el que permet treballar a temperatures inferiors respecte a la temperatura de treball a pressió atmosfèrica. Aquest buit es generat per una bomba de buit d'anell líquid que aspira tots els vapors dels equips d'evaporació i condensació. Els incondensables s'han d'enviar al sistema de tractament d'aires de la planta.

Secció de refrigeració.

La secció de refrigeració utilitza un fluït refrigerant (aigua) en un circuit tancat per a condensar al condensador el vapor generat a l'evaporador. El fluït refrigerant és impulsat per una bomba centrifuga que envia l'aigua freda des del dipòsit d'acumulació de la torre de refrigeració fins al condensador i la torna una altra vegada a la torre.

La torre de refrigeració presenta pèrdues d'aigua per evaporació. Aquestes pèrdues es reposen amb l'aigua final depurada o amb aigua de xarxa.

Secció *stripping*.

Aquest procés s'utilitza en aquelles ocasions en les que el contingut final en nitrogen amoniacal del lixiviat a tractar superi els límits imposats per a poder efectuar l'abocament o la seva reutilització.

Aquesta secció presenta dos cossos: *stripping* i rentat de gasos (*scrubber*).

Al stripping, l'aigua condensada que surt de la secció d'evaporació i condensació es bombeja a la part superior del stripping i circula en contracorrent amb una corrent d'aire a través d'un rebliment. En aquest procés, l'amoníac i altres substàncies volàtils contaminants presents a l'aigua condensada es transfereixen a la corrent d'aire, eliminant-se l'aigua. Per a afavorir la desorció, es pot dosificar un reactiu bàsic previ a l'alimentació a l'stripping.

Al rentador de gasos, es realitza el fenomen contrari, fixant en una corrent d'aigua en recirculació, l'amoníac i la resta de substàncies volàtils desorbides a la fase prèvia de *stripping*. En aquesta corrent d'aigua se li dosifica un reactiu àcid per a fixar l'amoníac a l'aigua i aconseguir concentrar-ho. La corrent d'aire de sortida del rentador de gasos és l'aspiració del ventilador del stripping, de manera que el procés és tancat, evitant emissions i olors.

Depuració biològica aeròbia per fangs actius.

El condensat, previ al seu ajust de pH, s'envia a una etapa de depuració biològica per fangs actius per a arribar als paràmetres d'abocament.

El procés que té lloc al reactor aerobi és un procés de barreja complerta, és a dir, en tots els punts del reactor existeixen les mateixes propietats: tant microorganismes com aire. La oxidació biològica que té lloc consisteix en l'assimilació de matèria orgànica present en el condensat, en presència d'oxigen i nutrients.

Per a la recirculació i purga del fangs s'utilitza un decantador de secció quadrada amb campana central de tranquil·litat per a l'alimentació i perfil Thompson de sortida de l'aigua tractada.

Purga de fangs.

Els fangs provinents de la purga del reactor biològic es poden enviar a capçalera de la planta i ser sotmesos a evaporació juntament amb els lixiviats.

5. TRACTAMENTS D'AIRES.

A les plantes de tractament de residus municipals es poden generar diversos tipus de compostos donades les característiques dels residus i els processos.

Compost	Exemple	Origen principal	Impacte
Compostos Orgànics Volàtils al residu	BETX, Compostos Orgànics Halogents i d'altres	Residus: Restes de vernissos, laques, dissolvents i productes químics	Salut humana
Compostos Orgànics Volàtils generats biològicament	Àcids orgànics, alcohols, aldehids, mercaptans	Processos biològics del TMB	Olors
Metà	CH_4	Processos biològics del TMB	Efecte hivernacle
Amoníac	NH_3	Processos biològics del TMB	Olor, deteriora l'eficiència del biofiltre, precursor del N_2O
Òxid Nitrós	N_2O	Biofiltre i RTO (oxidació del NH_3)	Efecte hivernacle (server)
Àcid sulfhídric	H_2S	Procés biològic, principalment la metanització i les basses de lixiviats	Olor molt sever, salut humana
Pols	Partícules < 10 μm	Pretractament, Compostatge	Salut humana
Bioaerosols	Espores, gèrmens i proteïnes	Procés biològic	Salut humana

Taula 52. Principals compostos generats a plantes TMB

Els principals sistemes de depuració de l'aire utilitzats per al tractament d'emissions de significació odorífera són els següents:

- Sistemes de rentat de gasos o *scrubbers* (normalment de varies etapes per a eliminar els diferents compostos causants de les olors).

- Sistemes de biofiltració.

- Sistemes d'oxidació tèrmica regenerativa.

A continuació es descriu en cadascuna d'aquestes tecnologies.

5.1. Sistemes d'absorció: rentat de gasos.

5.1.1. Abast de la tecnologia.

Aquesta tecnologia coneguda usualment com sistema de rentat de gasos es eficaç per a tractar emissions contaminades amb partícules i amb compostos polars com els compostos inorgànics H_2S, NH_3, amines, i d'alguns COV's com el metanol,...

5.1.2. Descripció del funcionament.

Als sistemes d'absorció a contracorrent s'introdueix per la part inferior l'aire contaminat a tractar i per la part superior de la columna la solució absorbent. Per a millorar l'eficiència del sistema s'ha d'incrementar l'àrea i el temps de contacte entre ambdós corrents, el que s'aconsegueix introduint en la columna un rebliment sintètic.

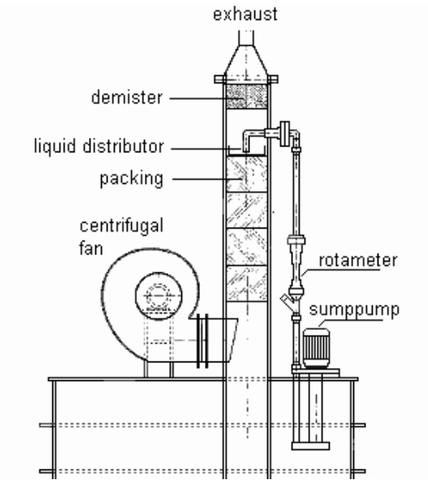


Figura 116. Esquema rentador de gasos

Tanmateix, existeixen rentadors de gasos de disposició horitzontal, i direcció dels fluxos de l'aire i de la solució absorbent creuada.

Les solucions absorbents utilitzades depenen dels contaminants presents en els gasos a tractar i en alguns casos és inclús necessari la realització de varies etapes de rentat per a aconseguir eliminar els contaminants.

Com a exemple, per a eliminar les olors, deguts a H_2S, mercaptans i amoníac es poden plantejar fins tres etapes consecutives de rentat.

- A la primera etapa es realitzarà un rentat àcid. El pH es mantindrà a dins dels paràmetres òptims de funcionament mitjançant un control de pH i l'addicció d'àcid sulfúric.

- A la segona etapa es realitzarà un rentat bàsic. El pH es mantindrà a dins dels paràmetres òptims de funcionament mitjançant un control de pH i l'addicció d'hidròxid sòdic.

- A la tercera etapa n'hi ha també un control de pH que governa l'addicció d'una solució d'hidròxid sòdic i un analitzador del potencial redox que regula l'alimentació de hipoclorit sòdic.

És important indicar que el funcionament de les torres de rentat genera un efluent que haurà de ser tractat adequadament abans del seu abocament al col·lector o al clavegueram públic.

En el cas exposat anteriorment, el líquid residual de la primera torre contindrà sulfat d'amoni i sulfats d'amines mentre que el de la segona torre tindrà sulfur de sodi. Ambdós efluents hauran de ser tractats i gestionats per separat.

A les plantes TMB, és habitual l'existència de corrents d'aire contaminat amb una elevada càrrega d'amoníac (fins a 1.000 ppm) amb la corresponent a l'aire sortint de l'etapa de compostatge. En aquests casos, és necessari el rentat àcid de l'aire a fi de reduir la concentració d'amoníac a valors admissibles (aprox. <50 ppm) per al seu tractament posterior amb biofiltració o oxidació tèrmica regenerativa.

5.1.3. Característiques tècniques del sistema.

- Eficiència elevada tan sols per a compostos molt polars: H_2S, NH_3, mercaptans, amines, metanol,....

– Aplicable a tot tipus de cabals. No obstant, s'ha de considerar que quan el cabal i/o la concentració de les emissions a tractar és molt elevada, llavors el consum de productes químics i la generació de líquids residuals és molt elevat i llavors comparativament els costos d'explotació són més elevats que els corresponents a d'altres tecnologies com els sistemes de biofiltració.

Aquesta tecnologia d'àmplia utilitat per haver-se instal·lat molt habitualment amb la finalitat de tractar les emissions atmosfèriques, per la seva baixa selectivitat presenta, sovint, molt baixa eficiència per a la depuració d'emissions contenint COV apolars o semi-polars.

És una tecnologia interessant, doncs el cost d'inversió és moderat si es compara amb altres tècniques de destrucció de COV, però d'altra banda s'ha de comentar que requereix un control intensiu i específic del grau d'esgotament de la solució absorbent i que el seu funcionament genera un residu líquid que s'ha de gestionar.

5.1.4. Prestacions del sistema (rentat químic oxidant).

1. Eficiència inferior a 80-85% de reducció d'olors, reducció dels COV 40-50%. No es pot fer servir com a sistema únic per aire amb alta càrrega d'olors.

2. Cost d'inversió 0,22 – 0,32 x 10^6 € / 100.000 m^3/h (només rentat d'una etapa).

3. Cost d'operació proporcional a la càrrega de compostos orgànics oxidables a depurar. Com a tractament d'aire amb alta càrrega d'olors el cost surt elevat, p.e.: tractar 100.000 m^3/h d'aire amb 50.000 uo/m^3 amb una càrrega d'uns 5-10 kg/h de compostos orgànics oxidables que necessita un aport d'uns 200-300 kg/h de hipoclorit sòdic al 15%. Això representa un cost d'uns 32 €/100.000 m^3 (1,6 – 2,1 €/t de residu).

4. S'ha de preveure l'aturada del sistema de scrubbers per realitzar neteges del rebliment i dels fons dels dipòsits de la columna de rentat.

5. S'ha de preveure el monitoreig de les principals variables de procés: cabals d'aire i de líquids, pH, conductivitat, cabal de dosificació de reactius, etc.

6. Combinat amb biofiltre si serveix com a tractament d'aire amb alta càrrega d'olors, amb costos competitius amb l'oxidació tèrmica regenerativa, sempre que la limitació d'emissió de COV no sigui massa estricte.

5.2. Biofiltració.

5.2.1. Abast de la tecnologia.

Els processos de biofiltració s'apliquen per a tractar emissions de baixa concentració, cabal regular, composició homogènia i sobretot, que els seus contaminants siguin susceptibles de biodegradació.

5.2.2. Descripció del funcionament.

El procés de depuració de gasos mitjançant biofiltració consta generalment d'un pretractament de rentat que filtra i condiciona l'aire a tractar, fent que arribi a la temperatura i la humitat òptimes per al tractament biològic posterior. El biofiltre pròpiament dit està format per una estructura porosa i inert que serveix de suport dels cultius bacterians que realitzen la depuració. A mesura que el gas travessa el llit filtrant, els contaminats i nutrients són incorporats pels microorganismes presents al biofiltre que els transformen en compostos innocus.

Font: BBK

Figura 117. Vista general biofiltres a una planta de tractament de RM

La biofiltració de corrents gasoses per a la seva depuració és un tractament destructiu de compostos orgànics volàtils (COV) i altres substàncies amb significació odorífera (com amoníac i àcid sulfhídric) típicament presents a les emissions o a l'aire ambient procedents tant de les infraestructures de tractament ambiental (EDAR's, estacions de bombeig

d'aigües residuals, plantes de tractament de fangs i/o residus, plantes de compostatge, plantes TMB, ...).

Les principals característiques dels processos de biofiltració són les següents:

- Es tracta d'una tecnologia sostenible que es desenvolupa sota les premisses totalment emmarcades en processos de tipus natural.

- La biofiltració es produeix sobre un llit fix filtrant amb una superfície microbiològicament activa respecte la qual es manté una humitat apropiada, una disponibilitat garantida de nutrients i amb el manteniment d'unes condicions fisicoquímiques apropiades com intervals de pH i temperatura adequats, absència de substàncies tòxiques per sota d'un llindar determinat que puguin alterar o inhibir el procés de biodegradació i també l'absència de partícules i d'altres substàncies que puguin disminuir la permeabilitat del medi.

- En la biofiltració es produeix la destrucció complerta dels contaminats (es a dir, sense que es verifiqui una transferència entre fases de la contaminació) presents en la corrent gasosa a tractar que percola (en direcció ascendent o descendent) a través d'un medi. En aquest sentit s'ha d'afegir que el rendiment de depuració dels biofiltres amb biomedis d'alta eficàcia (p.e. com els dels tipus inorgànic modificat) pot ser >95% de la concentració d'olor.

5.2.3. Característiques tècniques del sistema.

- Compostos a tractar: aquells que siguin biodegradables, com: amoníac, àcid sulfhídric, hidrocarburs alifàtics, compostos aromàtics, alcohols, aldehids, cetones i àcids orgànics, compostos sulfurats (àcid sulfhídric, mercaptans, tioèters,...) i compostos nitrogenats (com amoníac, amides, amines,...).

- Concentració de contaminants màxima en el gas a tractar: < 1,5 g/m^3.

- Temperatura, pH i humitat: específica per a cada cas.

Els processos de biofiltració té uns costos d'inversió i explotació inferiors als de les tecnologies de depuració per oxidació, ja sigui tèrmica o catalítica però el seu camp d'aplicació es centra al cas de COV's biodegradables i a emissions amb concentracions moderades de H_2S o NH_3.

S'ha d'assenyalar que als sistemes de biofiltració avançats el rendiment del procés és més eficient que als tradicionals, donat que el filtre és tancat per a evitar problemes d'olors, i de creixement vegetal i en els biofiltres d'alta tecnologia, el rebliment pot ser inert en lloc d'orgànic (turbes, restes vegetals com pèl de coco, compost, plomes,...) per a evitar que els microorganismes l'ataquin i perdi les seves qualitats físiques.

El biomedis convencionals utilitzats als biofiltres consisteixen principalment en barreges de materials d'origen vegetal (com turba, tacs de fusta, arrels, escorça, fibra de coco,...) barrejades en distintes proporcions que inevitablement comencen a descompondre's a partir del moment de la pròpia instal·lació del biofiltre.

Als sistemes de biofiltració de llit inorgànic, el medi consisteix en una barreja d'un suport inorgànic (75-80%) i d'un de fase orgànica (25-20%):

- La fracció inorgànica actua com a suport d'elevada resistència oferint una resistència mecànica estructural, una major porositat i una capacitat d'adsorció d'aigua superior que els mitjans orgànics tradicionals.

- La part orgànica, per altra banda, proporciona nutrients, adsorbeix diversos contaminants i optimitza la capacitat de fixació dels microorganismes responsables del procés de biodegradació en el biofiltre.

Un dels principals avantatges dels sistemes de biofiltració inorgànica és que en ells s'efectua la inoculació del suport amb microorganismes específics d'origen natural de forma que tots els microorganismes presents en el medi realitzen la depuració dels gasos. No obstant, en els biofiltres de suport orgànic existeixen una gran varietat de microorganismes, així doncs la densitat dels microorganismes responsables de la depuració és inferior a la dels biofiltres de suport inorgànic reduint-ne en conseqüència l'eficiència de depuració i, a més, l'existència d'altres microorganismes accelera el procés de degradació del llit i, en conseqüència, l'olor intrínseca dels biofiltres tradicionals és més elevat que la dels biofiltres de llit inorgànic.

A continuació es presenta una taula resum comparativa dels biomedis per biofiltres de tipus orgànic o de tipus inorgànic.

Característica	Suports orgànics	Suports inorgànics modificats
Origen/forma de producció	Natural	Producte biotecnològic

Característica	Suports orgànics	Suports inorgànics modificats
Resistència mecànica estructural	Baixa – Mitja	Alta
Àrea superficial	Baixa	Alta
Homogeneïtat de distribució de l'emplenat	Mitja	Alta
Homogeneïtat humidificació del llit del biofiltre	Mitja	Alta
Capacitat d'explotació del mecanisme d'adsorció dels contaminants en front a oscil·lacions brusques de la càrrega a tractar	Baixa	Alta
Esterilització prèvia del medi	No	Sí
Origen dels microorganismes	Natural Efluents d'infraestructures de tractament ambiental	Natural Seleccionats genèticament
Concentració de microorganismes	Baixa	Alta
Proporció d'organismes "útils" al biomedi per a la degradació dels compostos d'interès	Baixa	Alta
Inoculació de microorganismes	En el emplaçament	En origen
Degradació del biomedi	Progressiva des del inici de funcionament	Nul·la
Aportació d'olor intrínseca a l'emissió final	Mitjà	Baix
Susceptibilitat de compactació del biomedi	Alta	Baixa
Susceptibilitat d'aparició de canals preferencials	Mitja – Alta	Baixa
Eficàcia de la depuració	Mitja – Alta	Alta
Disponibilitat de l'eficàcia òptima des del inici de funcionament del biofiltre o darrere la renovació del biomedi	Nul·la	Total
Període transcorregut des de que s'inicia (o reinicia) el funcionament del biofiltre	Setmanes – Mesos	0 dies
Capacitat de manteniment de l'eficàcia de depuració al llarg de la vida útil	Baixa – Mitja	Alta
Robustesa de l'eficàcia en front a variacions de cabal i/o concentració del gas a tractar	Mitja – Alta	Alta
Duració del biomedi	Baixa – Mitja (típicament 2-5 anys)	Alta (típicament >5 anys)
Inversió	Baixa – Mitja	Alta

Taula 53. Taula resum comparativa dels biomedis de tipus orgànic o de tipus inorgànic per biofiltres

5.2.4. Prestacions del sistema.

1. Eficiència de reducció d'olor 90-95%, reducció dels COV 50-60%.

   - Factors que afecten: variacions de temperatura, creació de canals preferents al rebliment, elements tòxics NH_3, H_2S, etc.
   - Pot tractar aire amb càrrega de fins 10.000–20.000 uo/m^3 per emissió de 500-1.000 uo/m^3 (rendiment d'aprox. 95%).

2. Cost d'inversió i d'explotació reduït per biofiltres convencionals. Consum d'energia de 100-120 kWh$_e$/100.000 m^3 d'aire tractat:

   - Cost d'inversió: ±0,32–0,42 x 10^6 € / 100.000 m^3/h (captació i tractament).
   - Cost d'explotació: ±6-8,5 € / 100.000 m^3 (1-1,6 €/t de residu).

3. Substitució periòdica (3-4 anys). Per això es necessari controlar l'emissió de forma contínua o semicontinua i disposar de la suficient flexibilitat. També s'han de controlar els principals paràmetres del procés: cabals, temperatura, humitat, pH, etc..

4. Dimensionat per biofiltres convencionals: 100-120 m^3 d'aire/h m^3 de rebliment, amb una alçada de rebliment: 1 < H < 2m.

5. Scrubber previ per l'eliminació de l'amoníac per previndre la disminució de l'eficàcia del biofiltre i la formació de N_2O.

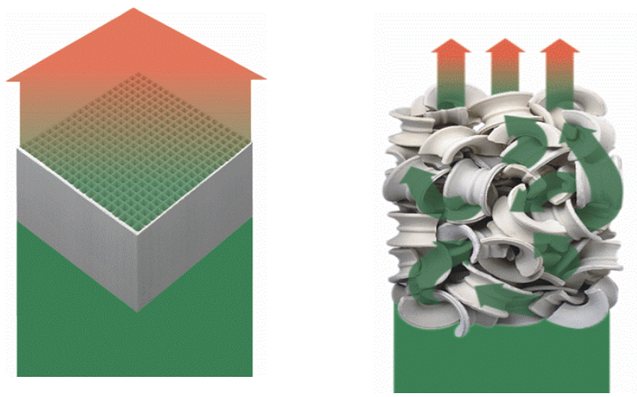
5.3. Oxidació tèrmica regenerativa.

5.3.1. Abast de la tecnologia.

L'oxidació tèrmica regenerativa s'utilitza per a tractar volums elevats d'aire, de fins 250.000 m^3/h i la concentració de COV de la qual sigui inferior a $10 g/Nm^3$. En aquests sistemes es pot arribar al funcionament autotèrmic quan la concentració de COV dels gasos supera els 2-3 g/Nm^3.

5.3.2. Descripció del funcionament.

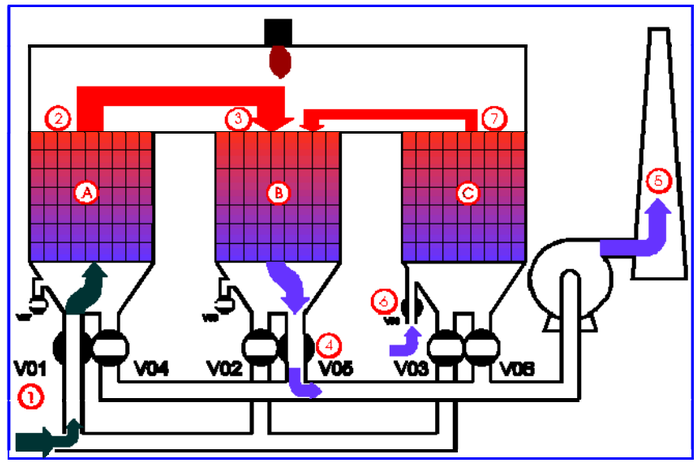
El funcionament d'aquests sistemes consisteix en pre-escalfar els gasos a tractar mitjançant un intercanviador de calor ceràmic de gran eficiència (<95%). A continuació els gasos passen per una càmera de combustió, a on es mantenen a la temperatura d'oxidació (durant 1 segon aproximadament) mitjançant un cremador auxiliar de gas, de manera que els COV s'oxiden produint CO_2 i H_2O. Posteriorment, els gasos calents travessen un segon llit ceràmic cedint la calor acumulada. El funcionament d'un sistema d'oxidació tèrmic regeneratiu és cíclic, es a dir, quan un llit ceràmic està calent després d'haver estat travessat pels gasos ja tractats a alta temperatura, s'inverteix el pas, i a partir de llavors circulen al seu través gasos freds contaminats. Existeixen al mercat diferents tipus de llits ceràmics.



Font: CTP

Figura 118. Llit ceràmic ordenat tipus panell d'abella (a l'esquerra) i desordenat tipus muntures (a la dreta)

D'aquesta manera el llit cedeix la seva calor i els gasos arriben a la càmera de combustió suficientment calents. Quan aquest llit es refreda, es produeix un nou canvi de sentit de pas dels gasos. Per a millorar l'eficiència del procés, i així evitar la transferència de compostos contaminats a la atmosfera durant el procés de canvi de sentit de funcionament, es dissenyen equips amb tres o més llits ceràmics, de forma que abans que un llit que hagi funcionat com entrada passi a funcionar com a sortida, se li realitzi una purga que es condueix a l'entrada del sistema.



Font: CTP

Figura 119. Esquema d'un sistema d'Oxidació Térmica Regenerativa

5.3.3. Característiques tècniques del sistema.

- Cabal: fins 250.000 Nm^3/h.
- Concentració: 1-10 g/N m^3 amb autotèrmia a partir de 2-3 g/N m^3.
- Temperatura oxidació: 800 ºC.
- Eficiència d'eliminació de COV: >98%.
- Recuperació calor en el intercanviador de calor ceràmic: >95%.
- Disseny compacte, instal·lació simple.
- Sistema robust i versàtil.

5.3.4. Prestacions del sistema.

1. Eficiència de reducció d'olor i dels COV 97-98%, eficiència tèrmica ± 95%.

   - Costos d'inversió i d'operació elevats. Consum d'energia entre 700 – 1.000 kWh_t / 100.000 m^3 d'aire tractat.
   - Cost d'inversió : ± 2,4 x 10^6 € / 100.000 m^3/h (captació i tractament).
   - Cost d'operació: 74-80 € / 100.000 m^3 (3-8,5 €/t residu depenent del cabal d'aire necessari).

2. Típicament, és necessària una parada anual de 7-15 dies degut als dipòsits de siloxans. És imprescindible disposar de redundància.

3. És necessari un rentador àcid previ per a l'eliminació d'amoníac per evitar la formació d'òxids de nitrogen a la cambra de combustió.

4. Degut al seu cost i limitació de capacitat en el disseny serveix per tractar cabals reduïts amb alta càrrega d'olors.

6. TRACTAMENTS DE BIOGÀS. TÈCNIQUES PER A LA REDUCCIÓ DE LES EMISSIONS PROCEDENTS DE LA UTILITZACIÓ DEL BIOGÀS COM A COMBUSTIBLE.

El biogàs conté diversos constituents (apart del metà i diòxid de carboni) que poden afectar a la seva utilització final com a combustible.

La composició del biogàs generat a la digestió anaeròbia té la següent composició típica:

Component	Concentració (% vol)
Metà	50 – 75
Diòxid de carboni	25 -50
Aigua	6 – 6,5
Oxigen	0,9 – 1,1
Nitrogen	3,9 – 4,1
Hidrogen	
Sulfur d'hidrogen	< 0,1 – 0,8
Amoníac	< 0,1 – 1
Altres (silicones, compostos halogenats, mercaptans, àcids grassos ...)	Traces

Taula 54. Composició típica del biogàs

Les tècniques de tractament de les emissions de biogàs és poden agrupar en dos tipus.

El primer tipus correspon el tractament del biogàs previ a la seva utilització com a combustible, per a condicionar i reduir les emissions desprès de la seva combustió i el segon tipus correspon a les tècniques de tractament de les emissions desprès de la combustió del biogàs.

Aquestes tècniques poden ser les següents:

1. Reducció del sulfur d'hidrogen (H_2S) mitjançant rentat químic, desulfuració biològica, filtració amb òxids de ferro, dosificació de clorur fèrric o injecció d'aire.

2. Tractament de siloxans. Filtració amb carbó actiu.

3. Reducció dels òxids de nitrogen (NO_x) mitjançant Reducció Catalítica Selectiva (SCR).

4. Reducció del monòxid de carboni (CO) i hidrocarburs mitjançant oxidació tèrmica.

6.1. Reducció del sulfur d'hidrogen.

El sulfur d'hidrogen està sempre present al biogàs en concentracions variables depenent de l'alimentació i condicions d'operació del procés de digestió anaeròbia dels residus.

El sulfur d'hidrogen, pot provocar problemes per corrosió als compressors, gasòmetres i motors de combustió del biogàs, així com emissions de sofre desprès de la seva combustió.

Es presenten a continuació els principals sistemes de reducció de sulfur d'hidrogen al biogàs.

6.1.1. Desulfuració biològica amb bioscrubber.

El sulfur d'hidrogen contingut al biogàs s'extrau del gas per rentat en un rentador amb un líquid bioactiu (*bioscrubbers*).

El sulfur d'hidrogen dissolt que es va acumulant a l'aigua de rentar es transforma (oxida) en productes d'oxidació, com sofre elemental i/o àcid sulfurós / àcid sulfúric per a les bactèries contingues al líquid de rentat, així com a les bastaries que colonitzen el rebliment del rentador (per ex. *Thiobacillus ferrooxidans, thiooxidans*), segons les següents reaccions:

$$2H_2S + O2 \rightarrow 2S + 2H_2O$$
$$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$$

Els productes d'oxidació del sulfur d'hidrogen s'acumulen al líquid del circuit.

El líquid del circuit s'ha de purgar periòdicament, total o parcialment, per líquid de rentat nou, per a que es donin les òptimes condicions per a les bactèries d'oxidació, degut a que s'acumulen àcids al líquid de rentat.

El rentador conté un rebliment que serveix de mitjà de transferència i de suport per a les bactèries.

A la zona inferior del rentador es troba el recipient / dipòsit acumulador pel líquid de rentat. Des d'aquest dipòsit acumulador, el líquid de rentat es bombeja, a la zona superior del rentador on es distribueix, mitjançant un dipòsit distribuïdor, al paquet de cossos de rebliment al rentador.

Abans d'entrar al rentador, el biogàs es barreja amb una determinada quantitat d'aire per a aportar oxigen a l'oxidació biològica.

El biogàs es introduït des de baix fins a dalt a través del rentador a contracorrent i surt net per la part superior del rentador.

La dosificació d'aire es controla pel cabal de gas actual (senyal procedent d'un mesurament del volum de gas) i es regula mitjançant una vàlvula de dosificació, de tal manera que no es formin barreges explosives de biogàs/aire.

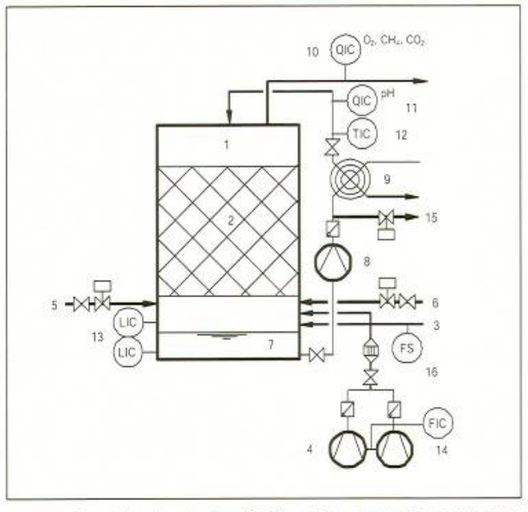
La concentració usual d'aire és d'aproximadament un 0,5 - 5% d'aire en el biogàs, estant molt per sota dels límits d'explosió per a barreges de biogàs/aire (aprox. 5-15% de biogàs a l'aire ⇒ aprox. 85 – 95% d'aire al biogàs).

Donat que el procés biològic ha de tenir lloc en un marge de temperatures òptim, la instal·lació està equipada amb un aïllament tèrmic, i en cas necessari, es regula la temperatura de la mateixa.

La solució del rentador es purga, per exemple, un cop s'arriba a un pH mínim fixat. Aquesta solució conté el sofre elemental i l'àcid sulfúric resultant de les reaccions d'oxidació del sulfur d'hidrogen.

La solució de reposició del rentador ha de contenir els nutrients necessaris per a la biologia.

L'eficiència del procés depèn de la concentració de sulfur d'hidrogen del biogàs arribant a un 95-98 %.



1	reactor	5	suministro de nutrientes	9	intercambiador de calor	13	control nivel solución nutrientes
2	empaquetamiento	6	agua de dilución	10	análisis del biogás	14	control de flujo de aire
3	entrada de biogás	7	solución de nutrientes	11	control de pH	15	salida sol. nutrientes gastada
4	suministro de aire	8	bomba de nutrientes	12	control de temperatura	16	control flujo de seguridad

Font: Biosulfex®

Figura 120. Esquema d'un sistema de desulfuració biològica amb *bioscrubber*

Com avantatges del procés podem senyalar:

– Elevada eficiència fins un 98%. Les concentracions màximes admissibles de sulfur d'hidrogen al biogàs, son de fins un 2%.

– Adaptable a variacions de l'entrada de biogàs.

– Sense consum de reactius i baix consum de serveis (aire comprimit).

Com a inconvenients senyalar que:

– Requereix d'un control i mesures de seguretat especifiques per a evitar la formació d'atmosferes explosives.

– Requereix d'un control elevat per a garantir unes condicions adequades per la biologia (temperatura, nutrients i pH).

– Es generen uns fangs amb sofre/sulfúric que cal regenerar i/o enviar a gestor autoritzat.
– Cost d'inversió elevat.

6.1.2. Desulfuració biològica amb scrubber i bioreactor.

El procés es pot representar de forma simplificada en un diagrama de blocs:

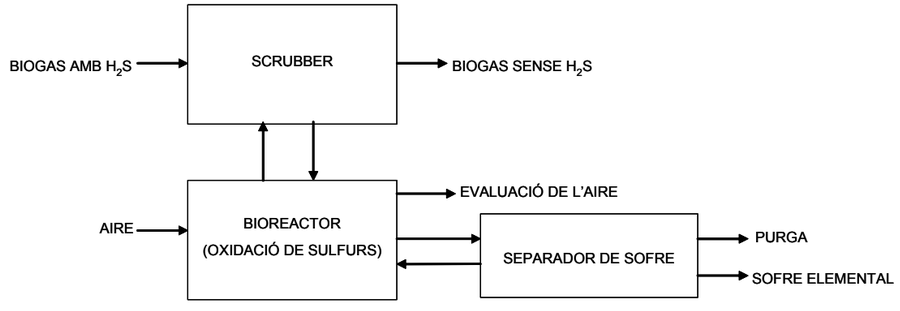


Figura 121. Esquema d'un sistema de desulfuració amb scrubber i bioreactor.

El biogàs entra en un *scrubber* humit, consistent en una columna amb rebliment plàstic i desulfuritza mitjançant pas contracorrent amb un fluid lleugerament alcalí. Una secció separadora de partícules líquides prevenen de l'arrossegament del fluid. El biogàs net surt de la torre per la seva part superior.

El líquid consumit al *scrubber* es recull al fons del mateix i s'envia al bioreactor. En el bioreactor s'introdueix aire al fons amb la finalitat de permetre que la biomassa converteixi els sulfurs dissolts en sofre elemental. D'aquesta manera es regenera l'alcalinitat. El sofre es separa en forma sòlida. Aquest fang de sofre pot, opcionalment, ser bombejat a una unitat de recuperació. En aquesta unitat el fang es deshidrata per al seu ús posterior i el líquid es retorna al bioreactor.

L'efluent del bioreactor es recicla al *scrubber* per a seguir eliminant H_2S. Del sistema s'ha de purgar un cabal mínim, amb la finalitat de preveure l'acumulació de sals.

El procés per a tractament de gasos es pot considerar com un *scrubber* càustic combinat amb un bioreactor, en el que la sosa consumida es regenera constantment.

En un *scrubber* el sulfur d'hidrogen s'absorbeix en condicions alcalines (pH de 8-9), segons la següent equació:

$$H_2S + NaOH \rightarrow NaHS + H_2O$$

S'arriben a alts rendiments en l'eliminació de H_2S perquè la concentració de H_2S a l'aigua de rentat que entra al *scrubber* és pràcticament zero.

Al procés l'alcalinitat consumida per l'absorció de H_2S és compensada per l'oxidació del sulfur d'hidrogen a sofre elemental en condicions òxiques controlades:

$$NaHS + 1/2O_2 \rightarrow S^o + NaOH$$

El procés fa servir bactèries de gènere *Thiobacillus* per a oxidar el sulfur d'hidrogen. Aquestes bactèries creixen molt ràpid i son altament resistents a condicions de procés variables.

Una part petita del sulfur dissolt s'oxidarà a sulfat, d'acord a la següents equacions:

$$2NaHS + 4O_2 \rightarrow 2NaHSO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2SO_4$$

Com resultat d'aquesta reacció col·lateral, es requereix sosa per a neutralitzar l'àcid sulfúric produït. Es realitza una petita purga del sistema per a preveure l'acumulació de sulfat sòdic i altres sals. Aquesta purga que conté sals de sodi i partícules de sofre.

El procés d'eliminació de H_2S del biogàs es divideix en 3 seccions, aquestes són: absorció, reactor biològic i etapa opcional de separació de sofre.

El rendiment de rentat de la primera etapa depèn bàsicament del pH al que es trobi la solució i del rati cabal gas/líquid. Els valors amb els que habitualment es treballa son pH de 8,5 i un rati de 8 m^3 gas/m^3 líquid. Amb aquests valors els rendiments d'eliminació de H_2S al biogàs poden arribar a un 99%, a la sortida de la torre s'arriba fàcilment a concentracions de <200 ppm de H_2S inclòs amb concentracions de H_2S al biogàs superiors al 2%.

A la segona etapa la solució de rentat amb una alta concentració de sulfurs dissolts es fa passar pel bioreactor, on aquests son oxidats per mitjà de bactèries thiobacillus a sofre elemental a la seva major part (95%) i a sulfats i tiosulfats en menor grau.

El bioreactor és del tipus barreja complerta i necessita esser airejat a l'objecte d'aportar l'oxigen necessari per a la reacció. L'aportació d'aire ha de ser controlat amb precisió, amb el fi de minimitzar la formació de sulfats.

L'activitat biològica al bioreactor és molt elevada, de forma que la concentració de sulfurs a la solució de rentat a la sortida del reactor és sempre inferior a 10 mg/l, mentre que a l'entrada (sortida de la torre de renta) aquesta concentració pot estar entre 200 ÷ 250 mg/l. D'aquesta manera s'aconsegueix mantenir una alta solubilitat del H_2S a la torre de rentat i els pics de càrrega poden tractar-se mantenint-se el rendiment d'eliminació i una baixa concentració de H_2S al biogàs tractat. El rendiment d'eliminació pot incrementar-se augmentant el cabal recirculat al bioreactor.

La concentració de sòlids al bioreactor augmenta fins arribar a nivells de 3g/l. A aquests nivells de concentració de sòlids en la solució de rentat, la torre d'absorció i el mateix bioreactor poden treballar sense problemes d'obstruccions al rebliment. Es creu que la deposició del sofre en el mitjà de rebliment de la torre s'evita per la formació de polisulfurs. Per altra banda el sofre elemental format al bioreactor es dissol a la solució de la torre, que té una alta concentració de sulfurs dissolts.

Una part de la solució en el bioreactor es fa passar per un separador on els sòlids es separen per decantació natural. La sedimentabilitat dels grans de sofre formats al bioreactor és molt elevada conseguint-se una elevada retenció d'aquests sòlids a l'equip decantador. Els fangs contenen fundamentalment sofre en un 95% (sobre matèria seca) i un 1% és matèria inert. La concentració de la purga del decantador és del 10%.

Per a assegurar un adequat creixement de la biologia es requereix la disposició d'una solució de nutrients.

Com a avantatges del procés podem assenyalar:

- Alts rendiments d'eliminació de sulfur d'hidrogen, fins un 99%.
- Alta activitat biològica, de tal manera que els pics de carreges i altres variacions als processos de producció es manegen amb efectivitat.
- Ràpid arrencament i posta en marxa del sistema.
- Control senzill del sistema, operació estable.

– Operació a pressions ambient o elevades, així com a diferents temperatures.

– Costos d'operació baixos-moderats com a conseqüència de la recuperació de la sosa (>93% d'estalvi en sosa enfront a tractaments químics).

– No es requereixen compostos quelants com als processos redox.

– Producció de sulfur elemental com un subproducte reutilitzable.

Com a inconvenients del procés podem assenyalar:

– Requereix d'un control elevat per a garantir unes condicions adequades per a la biologia (temperatura, nutrients i pH).

– Cost d'inversió elevat.

6.1.3. Rentat amb scrubber.

El procés consisteix en dessulfurar el biogàs mitjançant l'aborció o reacció del sulfur d'hidrogen amb una solució al passar el biogàs per un *scrubber* contracorrent amb la solució de rentat.

Aquesta solució pot ser, per exemple, aigua, una solució bàsica en medi oxidant o una solució de sulfat fèrric.

Rentat amb aigua

El rentat únicament amb aigua és un procés que requereix de grans volums d'aigua i presenta un baix rendiment de desulfuració del biogàs. Aquest procés únicament és consideraria per a l'eliminació conjuntament del diòxid de carboni per a la producció de combustible per vehicles.

Rentat amb medi bàsic / oxidant

Al rentat amb una solució bàsica en medi oxidant (sosa càustica amb hipoclorit sòdic) es controla el pH de la solució de rentat de manera que permeti l'absorció del sulfur d'hidrogen, formant-se el sulfur sòdic i s'eviti la reacció amb el diòxid de carboni, evitant la formació de carbonat i bicarbonat sòdic. Tanmateix es controla l'addició d'hipoclorit sòdic mitjançant el control del potencial redox de la solució. La descàrrega del líquid esgotat es produiria de forma automàtica mitjançant un conductivímetre.

Rentat amb solució de sulfat fèrric

Al rentat amb una solució del sulfat fèrric, s'absorbeix el sulfur, oxidant-lo en sofre elemental i reduint-ne el sulfat fèrric a ferrós. El producte de reacció és una barreja de dissolució de sulfat ferrós/fèrric i sofre en suspensió. Per a la regeneració de la solució, el sofre en suspensió es separa a un decantador lamel·lar i és eliminat periòdicament per a evitar la seva precipitació als diversos components de la instal·lació.

El sulfat fèrric, un cop retirat el sofre, es recupera a un bioreactor mitjançant microorganismes del tipus *Thiobacillus ferroxidans.*

Les etapes del procés son les següents:

– Absorció:

A la torre de rentat, el gas es posa en contacte amb una dissolució de sulfat fèrric, de l'ordre de 20 g Fe(III)/L. Per això la dissolució es redueix, enriquint-se en sulfat ferrós.

$$H_2S + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow S + 2FeSO_4 + H_2SO_4$$

La repartició de líquid és efectuada normalment per ruixadors de con ple, que generen un espectre de gotes el suficientment petites per a afavorir i incrementar el contacte entre les dues fases.

La corrent gasosa passa finalment a través d'un separador de gotes tipus malla, de flux horitzontal, amb la finalitat d'evitar el pas de gotes als equips posteriors.

– Separació del sofre:

La dissolució absorbent, arrossega un important contingut de sofre que és necessari retirar. Com resultat de la separació al decantador, s'obté una dissolució clarificada, i uns fangs que contenen sofre precipitat i sulfat ferrós i fèrric en dissolució aquosa.

Les pèrdues en ferro i volum d'aigua, provocades per la sortida de fangs del sistema, son reposats a l'etapa de reacció biològica, amb l'addició de reactius, principalment, sulfat ferrós industrial a una concentració de l'ordre de 20 g Fe(II)/L.

– Reactor biològic:

A la tercera etapa, es porta a terme la regeneració de la dissolució, esgotada a l'etapa d'absorció.

La dissolució es condueix al bioreactor, on el microorganisme *Thiobacillus ferrooxidans* realitza aeròbiament, l'oxidació del Fe(III) present a la dissolució. El resultat de la reacció és una dissolució rica en sulfat fèrric, de l'ordre de 20 g Fe (III)/L.

$$2Fe_2SO_4 + H_2SO_4 + 1/2O_2 \rightarrow Fe_{2(}SO_4)_3 + H_2O$$

Finalment, la dissolució efluent del reactor biològic es fa servir novament a les torres de rentat, minimitzant per tan el consum d'absorbent.

– Seguretats:

El sistema es composa de dues parts diferenciades:

– Desulfuració de la corrent de biogàs mitjançant la dissolució de sulfat fèrric.
– Regeneració biològica de la dissolució de sulfat ferrós a fèrric.

Aquesta separació permet que, davant d'un problema a la part biològica de la instal·lació i fins que aquesta es solucioni, es pugui continuar realitzant la desulfuració del biogàs mitjançant un procés químic, sense necessitat d'aturar la instal·lació de cogeneració.

Per a aquest cas d'emergència, en el que no es pot regenerar biològicament el sulfat ferrós en fèrric, es muntarà una instal·lació de seguretat de dosificació de NaOH, composta per un dipòsit de reactiu, bomba dosificadora i dipòsit de recirculació.

Com a avantatges dels processos amb rentat podem assenyalar:

– Cost d'inversió moderat (sempre que no hi hagi regeneració de la solució de rentat).

– Sistema robust i adaptable a variacions de cabal i concentracions al biogàs.

Com a inconvenients del procés amb rentat podem assenyalar:

– Elevat consum d'aigua i/o reactius (sempre que no hi hagi regeneració de la solució de rentat.

– Elevada generació d'efluents residuals (sempre que no hi hagi regeneració de la solució de rentat).

– Problemes per formació d'escumes i embrutiment, particularment, quan s'utilitza sulfat fèrric.

6.1.4. Filtració amb òxids de ferro.

En aquest procés el biogàs es dessulfura al passar per un filtre (reactor) amb materials d'òxids de ferro (pellets, grans, xips, etc.).

El sulfur d'hidrogen reacciona amb facilitat amb l'òxid i d'hidròxid de ferro produint sulfur de ferro. La reacció és lleugerament endotèrmica, requerint-se d'una temperatura mínima d'aproximadament 12°C per a garantir la reacció.

La temperatura òptima de reacció es situa entre els 25 i 50°C.

Per a afavorir la reacció, el biogàs no ha de tenir una sequedat massa elevada. Per altra part, s'ha d'evitar la condensació del biogàs al reactor per a evitar l'aglomeració i compactació del material d'òxids de ferro (pellets, xips, etc.) el que reduiria la superfície de reacció.

El sulfur de ferro format es pot oxidar, per exemple, amb aire per a la recuperació de l'òxid de ferro. El producte format és òxid o hidròxid de ferro regenerat i sofre elemental. Aquest procés de regeneració és molt exotèrmic i pot provocar l'auto-ignició del material, pel que s'han d'implementar mesures de seguretat específiques. El sofre elemental s'acumula a la superfície activa del material d'òxid de ferro. Els cicles de regeneració i reposició del material d'òxid de ferro és funció de les concentracions de sulfur d'hidrogen al biogàs.

Habitualment el procés es realitza amb dos llits de reacció. Mentre que el primer està en càrrega, el segon està regenerant-se amb aire.

Existeixen al mercat diversos materials de suport pels òxids de ferro dissenyats amb una superfície específica molt superior a la de l'acer oxidat a fi d'augmentar la capacitat de desulfuració del procés. Per exemple, la capacitat de desulfuració per a òxids de ferro (suport de xips de fusta) és d'un 20% en pes de sulfur d'hidrogen i per a òxids de ferro (pellet) és de fins a un 50% en pes de sulfur d'hidrogen.

Com avantatges del procés podem assenyalar:

– L'elevada eficiència de desulfuració: superior al 99%.

– Sistema robust i adaptable a variacions de cabal i concentracions al biogàs.

Com a inconvenients del procés podem assenyalar:

– Elevats costos de reposició d'òxids de ferro i de gestió del material esgotat per a elevats cabals i/o concentracions al biogàs a tractar.

6.1.5. Adsorció sobre carbó actiu impregnat.

El procés consisteix en dessulfurar el biogàs mitjançant l'adsorció sobre un llit de carbó actiu amb impregnació bàsica, p.e. amb iodur potàssic.

Les condicions de reacció més adequades son una pressió (7 a 8 bar) i temperatura (50-70 °C). Aquestes temperatures s'aconsegueixen amb la compressió del biogàs.

Habitualment el procés es realitza amb dos llits de carbó actiu (un en operació més un en reserva que opera quan s'esgota el primer). Per a concentracions molt elevades de sulfur d'hidrogen al biogàs el procés és dissenya amb un sistema de regeneració del carbó actiu esgotat, per exemple, mitjançant un rentat del llit amb una solució bàsica.

Els avantatges del procés són:

– Elevats rendiments.

– Sistema robust i adaptable als cabals i concentracions.

El inconvenient del procés és:

– Escasses referències disponibles a escala industrial amb biogàs.

6.1.6. Dosificació de clorur fèrric al digestor.

El clorur fèrric pot dosificar-se directament al digestor o a la seva alimentació. El clorur fèrric reacciona amb el sulfur d'hidrogen formant-se sulfur de ferro que és altament insoluble. Aquest mètode és efectiu per a reduir altres concentracions de sulfur d'hidrogen que podrien provocar una toxicitat a la biologia, però no està efectiu per a aconseguir concentracions baixes i estables de sulfur d'hidrogen al biogàs. Per això, aquest procés s'ha de completar amb un tractament posterior del biogàs per a arribar a baixes concentracions (fins a 10 ppm) de sulfur d'hidrogen al biogàs.

Els avantatges d'aquest procés són:

– Baixos costos d'inversió, limitats al sistema de dosificació i emmagatzematge del clorur fèrric.

– Sense generació de residus finals.

Els inconvenients del procés són:

– Rendiment moderat de desulfuració.

– Consum de reactiu.

– Es poden produir problemes per corrosió associats al ús del clorur fèrric.

6.1.7. Injecció d'aire/oxigen.

La injecció d'aire/oxigen és el mètode més senzill de desulfuració de biogàs.

Aquest sistema consisteix en l'addició controlada d'oxigen o aire (entre 2 a 6% d'aire al biogàs) directament al digestor o al gasòmetre. Per a evitar la formació d'atmosferes explosives, s'han d'incloure mesures de seguretat per a evitar la sobredosificació d'aire.

En plantes de digestió de gran dimensió, és habitual el combinar aquest sistema amb un rentat i desulfuració biològica del biogàs.

Els avantatges d'aquest procés són:

– Baixos costos d'inversió, limitats al sistema de dosificació d'aire i operació.

– Sense generació de residus finals.

Els inconvenients d'aquests procés són:

– Rendiment de desulfuració limitat (fins a 200 ppm).

– Requereix d'un control i mesures de seguretat per a evitar la formació d'atmosferes explosives.

6.2. Reducció de siloxans.

Depenent de la caracterització del residu entrat a la digestió, pot donar-se el cas que el biogàs generat presenti una contaminació addicional per compostos orgànics de silici (siloxans), els efectes dels quals als motors són la deposició de silicats a diferents parts (culates, vàlvules,…) reduint conseqüentment la vida útil d'aquests elements. Aquesta problemàtica és particularment més habitual al biogàs d'abocador.

Donat que l'aparició d'aquests compostos al biogàs és relativament recent (i sembla que creixent per el major ús de productes amb silicones), a dia d'avui no existeixen tecnologies suficientment madures per tal d'eliminar-los completament o si més no reduir-los d'una manera eficient. Ara per ara la tecnologia de reducció de siloxans amb columnes d'adsorció amb carbó activat o amb gel de sílice s'utilitza, en ocasions molt específiques (particularment amb biogàs d'abocadors), però amb uns costos d'explotació potencialment elevats.

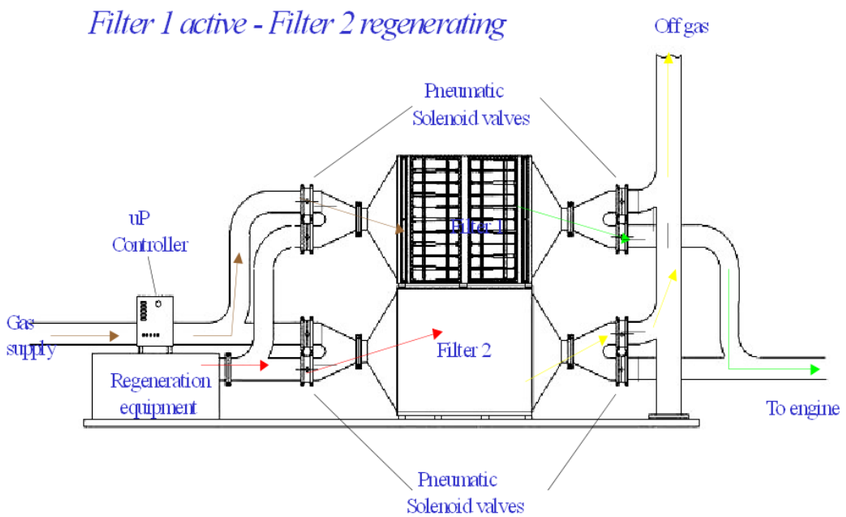
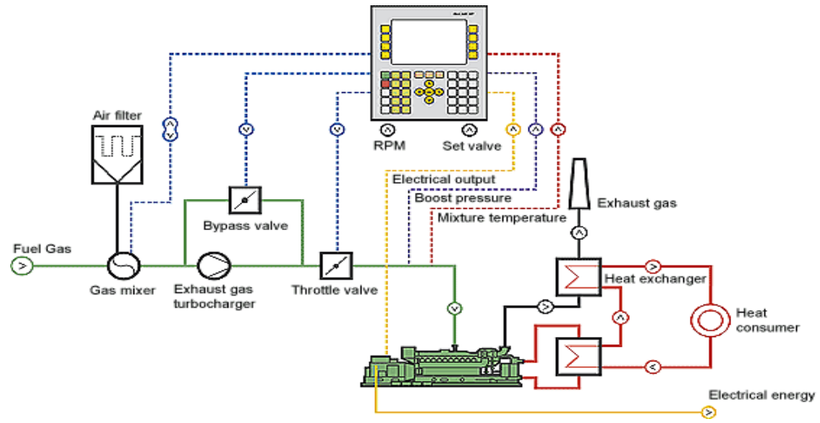


Figura 122. Esquema d'un sistema de filtració de siloxans amb regeneració

6.3. Reducció de les emissions de gasos de combustió.

Existeixen diversos sistemes per a la minimització i reducció de les emissions dels gasos de combustió (NO_x, CO o hidrocarburs).

Un dels més habituals és el control intern al motors dels paràmetres de combustió mitjançant el manteniment d'una relació aire/gas adequada sota les diferents condicions de funcionament dels motors.



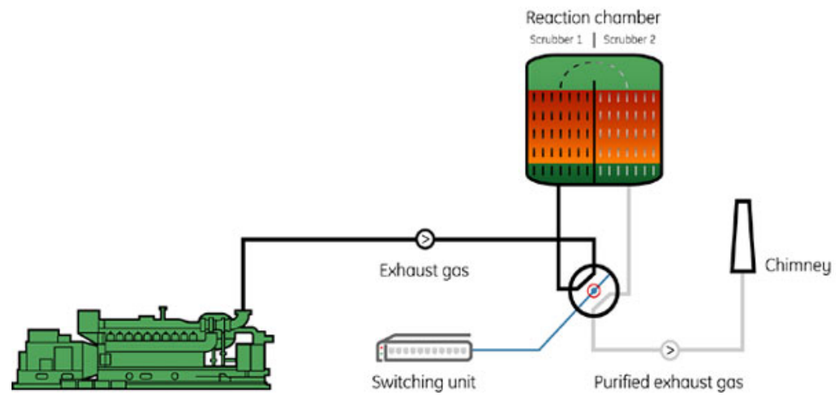
Font: Jenbacher

Figura 123. Sistema de control de combustió de barreja pobre LEANOX de Jenbacher

En aquest cas, el sistema de control corregeix els paràmetres del motor per a obtenir una combustió més eficaç i garantir els requisits d´emissions de NO_x.

Altres sistemes es basen en un tractament a fina de línia amb una reducció selectiva catalítica (SCR) dels NO_x.

En relació a les emissions de CO (i hidrocarburs), existeixen al mercat sistemes de postcombusió dels gasos d´escapament dels motors de biogàs. Aquests sistemes es basen en l´oxidació térmica dels gasos d´escapament fins a uns 800ºC, amb el que el CO i els hidrocarburs passen a formar vapor d´aigua i diòxid de carboni. Aquest sistema presenta com a inconvenient el seu elevat cost.



Font: Jenbacher

Figura 124. Esquema d'un sistema de postcombustió dels gasos d'escapament per a la reducció de les emissions de CO i hidrocarburs

De manera molt limitada (i en funció de les característiques del biogàs) es poden utilitzar convertidors catalítics als gasos d'escapament per a la oxidació del CO. Aquest sistema presenta el inconvenient del possible enverinament o desactivació del catalitzador per la presència de determinats compostos al biogàs (com siloxans o compostos hal·logenats).

És per això que aquest sistema s'implanta habitualment combinat amb una adsorbió amb carbó actiu del biogàs per a eliminar prèviament els diversos contaminants presents al biogàs que puguin produir la desactivació dels catalitzadors.

7. MILLORS TÈCNIQUES DISPONIBLES (MTD´S): *REFERENCE DOCUMENT ON BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR THE WASTE TREATMENT INDUSTRIES. AUGUST 2005.*

Com es detalla a l'annex corresponent a l'*Estudi tècnic del marc normatiu i altres documents de referència*, aquest document[33] forma part d'una sèrie que presenta els resultats d'un intercanvi d'informació entre els Estats Membres i les industries 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 el control integrats de la contaminació (IPPC) i, per tant, s'ha de tenir en compte quan es determinin les millors tècniques disponibles, de conformitat amb l'annex IV de la Directiva IPPC.

En particular, el document inclou les MTD's d'aplicació al tractament mecànic i biològic dels residus municipals així com per al tractament de les emissions, aigües residuals i gestió dels residus d'aquestes instal·lacions.

Actualment, aquest document està finalitzat i pendent de la seva adopció per la Comissió Europea abans de finalitzar l'any 2006.

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 de processos biològics (aerobis i anaerobis) i de tractament mecànic-biològic.

Les àrees principals dels processos de tractament mecànic i biològic dels residus municipals sobre les que es fa especial èmfasi són les següents:

- Processos biològics.
- Processos d'assecatge (a banda del secat biològic aerobi).
- Control de les emissions dels diferents processos.

A continuació es presenta un resum de les principals MTD´s incloses al document per als processos esmentats.

- Utilitzar les següents tècniques per l'emmagatzematge i manipulació dels residus:
  - Per residus amb emissivitat d'olors baixa – mitjana, utilitzar portes de tancament ràpid (reduint al màxim els temps d'obertura) en combinació amb un adequat sistema de captació i aspiració d'aire per a mantenir la nau en depressió.
  - Per residus amb emissivitat d'olors elevada, utilitzar bunkers tancats.
  - Confinar l'àrea de recepció de residus amb un sistema de captació i aspiració d'aire.
- Ajustar els residus admissibles i els processos de separació segons els tipus de processos de tractament i les tècniques de controls d'emissions aplicables (p.e. depenent del contingut de compostos no biodegradables).
- Per als processos amb digestió anaeròbia:

[33] Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries. August 2005. CE.

- Integració entre el procés i la gestió de les aigües.
- Reutilitzar al màxim les aigües residuals al digestor.
- Realitzar la digestió en condicions termòfiles.
- Mesurar el COT (Carboni Orgànic Total), DQO (Demanda Química d´Oxigen), Nitrogen, Fòsfor i Clorurs a l'entrada i sortida de la digestió.
- Maximitzar la producció de biogàs, tenint en compte l'efecte sobre la qualitat del digest i del biogàs.

- Per a reduir les emissions atmosfèriques (partícules, NO_x, SO_x, CO, H_2S i COV´s) associades a la utilització del biogàs com a combustible es proposa una combinació adequada de les següents tècniques:

  - Rentat del biogàs amb sals de ferro.
  - Utilitzar sistemes De-NOx (per a la reducció de NOx) tals com el SCR (*Selective Catalytic Reduction*).
  - Utilitzar sistemes d'oxidació tèrmica.
  - Utilitzar filtració amb carbó actiu.

- Com a millores a tractaments mecànics-biològics el document proposa:

  - Utilitzar bioreactors completament tancats.

  - Evitar condicions anaeròbies durant el tractament aerobi mitjançant el control de l'aireació i la seva regulació en funció de la biodegradabilitat del residu.

  - Utilització eficient de l'aigua.

  - Aïllament tèrmic de la coberta de les naus de compostatge o estabilització aeròbia.

  - Minimitzar les emissions d'aires contaminats a valors d'entre uns 2.500 a 8.000 Nm^3 per tona de residus tractada.
  - Garantir una alimentació de residus constant.

  - Reutilitzar les aigües residuals dels processos o els llots als processos de tractament aerobi per a evitar els abocaments d'aigües.

  - Adquisició de dades per correlacionar les variables controlades als processos de degradació biològica i les emissions (gasoses) mesurades.

  - Reduir les emissions de compostos nitrogenats optimitzant el rati C/N.

- Reduir les emissions dels tractaments mecànics-biològics als següents valors:

Paràmetre	Emissions tractades
Olors (uo_e/m^3)	< 500 – 6.000
Amoníac (mg/Nm^3)	< 1 – 20
COV's (mg/Nm^3)	7 – 20(1)
Partícules (mg/Nm^3)	5 – 20

(1) Per baixes càrregues de COV's, el límit superior del rang pot pujar a 50.

Font: BAT document for the Waste Treatment Industries. August 2005. CE

Taula 55. Emissions dels tractaments mecànics-biològics

mitjançant la següent combinació de sistemes de tractament de les emissions:

- mantenir un adequat confinament dels processos,
- oxidació tèrmica regenerativa,
- reducció de partícules.