

# **Alternativas de recogida, tratamiento y eliminación de residuos sólidos urbanos**



**Autor: José Luis Soto Fuster**

**Tutor: Javier Rodrigo Ilarri**

**Grado en Ingeniería de Obras Públicas**

**Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos**

**Septiembre 2014**



## ÍNDICE

<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>8</b>
<b>1.- LEGISLACIÓN SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1.-CONCEPTO DE RESIDUO</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2.-CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS</b> .....	<b>9</b>
1.2.1.-Clasificación en función de su origen .....	9
1.2.2.-Clasificación en función de su peligrosidad.....	9
<b>1.3.- LEGISLACIÓN EUROPEA</b> .....	<b>9</b>
1.3.1.- Criterios normativos.....	10
1.3.2.- Relación de legislación europea .....	11
1.3.3.- Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (BREFs) .....	19
<b>1.4.- LEGISLACIÓN ESTATAL</b> .....	<b>21</b>
1.4.1.- Criterios normativos.....	21
1.4.2.- Relación de legislación .....	29
<b>1.5.- LEGISLACIÓN AUTONÓMICA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA</b> .....	<b>34</b>
1.5.1.- Criterios normativos.....	34
1.5.2.- Relación de legislación .....	35
<b>1.6.- LEGISLACIÓN SOBRE VERTEDEROS</b> .....	<b>41</b>
1.6.1.-Autorizaciones administrativas .....	42
1.6.2 Admisión de residuos .....	44
1.6.3.- Procedimientos .....	45
<b>1.7.- LEGISLACIÓN SOBRE INCINERACIÓN</b> .....	<b>45</b>
1.7.1.-Introducción y ámbito de aplicación .....	45
1.7.2.-Autorizaciones administrativas .....	46
1.7.3. Condiciones de funcionamiento y valores límites de emisión .....	47
<b>2. Características físico-químico-biológicas de los RSU</b> .....	<b>54</b>
<b>2.1.-PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS RSU</b> .....	<b>54</b>
<b>2.2.- PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS RSU</b> .....	<b>56</b>
<b>2.3.- PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS RSU</b> .....	<b>58</b>
<b>3.- Descripción básica del proceso de gestión de RSU</b> .....	<b>60</b>
<b>3.1.- PRODUCCIÓN DE RSU EN EL ÁMBITO URBANO</b> .....	<b>60</b>
<b>3.2.- TRANSPORTE A PLANTA TRANSFERENCIA O A PLANTA DE TRATAMIENTO</b> .....	<b>65</b>
<b>3.3.- PROCESAMIENTO Y SEPARACIÓN DE MATERIALES</b> .....	<b>66</b>
3.3.1-Reducción de tamaño.....	66
3.3.2 Separación por tamaño .....	69
3.3.3-Separación por densidad.....	70
3.3.4.- Separación magnética y por campo eléctrico: .....	72



3.3.5.- Compactación.....	74
<b>3.4.- INSTALACIONES PARA MANIPULACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>76</b>
<b>4.- RECOGIDA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....</b>	<b>77</b>
4.1.-RECOGIDA DE RSU NO SELECCIONADOS.....	77
4.2.- RECOGIDA DE RSU SEPARADOS EN ORIGEN .....	80
4.3.-SISTEMAS DE RECOLECCIÓN, EQUIPAMIENTO Y NECESIDADES DEL PERSONAL .....	81
4.4.-ITINERARIOS DE RECOLECCIÓN.....	83
4.5.-MANIPULACIÓN Y SEPARACIÓN DE RSU EN VIVIENDAS RESIDENCIALES .....	84
4.6.- MANIPULACIÓN Y SEPARACIÓN DE RSU EN INSTALACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES .....	87
4.7.-ALMACENAMIENTO DE RSU EN ORIGEN.....	87
4.7.1.-Efectos del almacenamiento sobre los componentes de los RSU .....	87
4.7.2.-Tipos de contenedores.....	88
4.7.3.-Lugares de almacenamiento de contenedores .....	90
4.8.-PROCESAMIENTO DE RSU EN VIVIENDAS RESIDENCIALES .....	91
4.9.-PROCESAMIENTO DE RSU EN INSTALACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES .....	92
<b>5.- TRANSPORTE DE RSU .....</b>	<b>92</b>
5.1.-NECESIDAD DE LAS OPERACIONES DE TRANSFERENCIA.....	92
5.2.-TIPOS DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA .....	93
5.2.1.- Carga directa: .....	93
5.2.2.-Carga y almacenamiento.....	95
5.3.-DISEÑO Y REQUISITOS.....	96
5.4.-TRANSPORTE MEDIANTE VEHÍCULO MOTORIZADO .....	97
<b>6.- COMPOSTAJE.....</b>	<b>99</b>
6.1.- METODOLOGÍA DE COMPOSTAJE .....	99
6.1.1.- Concepto de compostaje.....	99
6.1.2.- Necesidad del compostaje .....	100
6.1.3.- Factores que intervienen en el proceso .....	101
6.2.- SISTEMAS DE COMPOSTAJE .....	106
6.2.1.- SISTEMAS ABIERTOS.....	106
6.2.2.- SISTEMAS CERRADOS .....	109
<b>7.- BIOMETANIZACIÓN .....</b>	<b>116</b>
7.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	116
7.1.1.- Concepto de biometanización.....	116
7.1.2.- Factores que intervienen en el proceso .....	118
7.2.- TECNOLOGÍAS EXISTENTES .....	120
7.2.1.- Sistemas en una etapa.....	120
7.2.2.- Sistemas en dos etapas .....	122
7.2.3.- Sistemas discontinuos .....	122
<b>8.- VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RSU.....</b>	<b>125</b>
8.1.- INTRODUCCIÓN .....	125



<b>8.2.- LA COMBUSTIÓN DE LOS RSU .....</b>	<b>126</b>
8.2.1.- Determinación del poder calorífico interno de los RSU .....	126
8.2.2.- Relación entre el PCI y la cantidad de aire necesaria para .....	127
8.2.3.- Relación entre el PCI y los gases producidos en la combustión .....	128
8.2.4.- Determinación del exceso de aire .....	128
8.2.5.- Determinación del volumen de humos producidos en la combustión .....	129
8.2.6.- Refrigeración de los humos de combustión .....	130
<b>8.3.- CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....</b>	<b>131</b>
8.3.1.- Sistemas para el control de la contaminación atmosférica .....	133
8.3.2.- Dispersión de los humos .....	137
<b>8.4.- RESIDUOS PRODUCIDOS EN LAS INSTALACIONES DE INCINERACIÓN .....</b>	<b>137</b>
<b>8.5.- BALANCE TÉRMICO DE UNA INCINERADORA .....</b>	<b>138</b>
<b>8.6.- ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO .....</b>	<b>138</b>
<b>8.7.- LAS INSTALACIONES DE INCINERACIÓN .....</b>	<b>139</b>
8.7.1.- Recepción de basuras y carga de hornos .....	139
8.7.2.- Hornos .....	141
8.7.3.- Instalaciones de tratamiento de los productos resultantes .....	145
<b>8.8.- COSTES .....</b>	<b>146</b>
8.8.1.- Costes de inversión .....	146
8.8.2.- Costes de explotación .....	147
<b>8.9.- EL DOCUMENTO BREF SOBRE INCINERACIÓN .....</b>	<b>147</b>
<b>8.10.- TÉCNICAS DE TRATAMIENTO, CONTROL Y RECICLAJE DE RESIDUOS DE INCINERACIÓN .....</b>	<b>149</b>
8.10.1.- Mejores Técnicas Disponibles (MTD) genéricas para incineraciones .....	150
8.10.2.- MTD específicas para incineración de RSU .....	151
8.10.3.- MTD específicas para incineración de RSU pretratados o seleccionados .....	152
<b>8.11.- TÉCNICAS EMERGENTES PARA REDUCIR LOS CONTAMINANTES PRODUCIDOS .....</b>	<b>153</b>
<b>8.12.- ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA INCINERACIÓN DE RSU .....</b>	<b>153</b>
8.12.1.- Información de los Estados Miembros .....	153
8.12.2.- Aspectos económicos. Algunos aspectos tecnológicos de la incineración .....	161
<b>9.- VERTEDEROS .....</b>	<b>163</b>
<b>9.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS VERTEDEROS CONTROLADOS .....</b>	<b>165</b>
<b>9.2.- SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE VERTEDEROS .....</b>	<b>165</b>
<b>9.3.- IMPERMEABILIZACIÓN DEL VASO DE VERTIDO Y DRENAJE EXTERIOR .....</b>	<b>167</b>
<b>9.4.- PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL LIXIVIADO .....</b>	<b>170</b>
9.4.1.- Características y composición del lixiviado .....	170
9.4.2.- Descripción del sistema de captación y almacenamiento de lixiviados .....	171
<b>9.6.- PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL BIOGÁS .....</b>	<b>174</b>
9.6.1.- Problemas derivados de la generación de biogás en vertederos .....	175
9.6.2.- Formación de biogás: etapas de la degradación anaerobia .....	176
9.6.3.- Sistemas de captación de biogás .....	177
<b>9.7.- SELLADO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE VERTEDEROS .....</b>	<b>180</b>
<b>9.8.- CONTROL AMBIENTAL DURANTE LAS FASES DE EXPLOTACIÓN Y POSTCLAUSURA .....</b>	<b>183</b>
<b>10.- ECOPARQUES .....</b>	<b>184</b>



<b>11.- DETERMINACIÓN DEL CANON DE GESTIÓN DE RSU .....</b>	<b>188</b>
11.1.- INTRODUCCIÓN .....	188
11.2.- PARÁMETROS Y ESTIMACIONES GENERALES .....	189
11.3.- EL MODELO DE COSTES.....	191
11.4.- COSTES ASOCIADOS A LAS INSTALACIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS .....	191
11.5.- SERVICIOS CENTRALES Y/O COMUNES.....	193
<b>12.- GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE VALENCIA</b>	<b>194</b>
12.1.-LA EMTRE: COMPETENCIAS Y ÁMBITO TERRITORIAL .....	194
12.2.-INSTALACIÓN 1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE RSU Y COMPOSTAJE: LOS HORNILLOS .....	196
12.2.1.-Descripción funcional del proceso .....	198
12.2.2.-Tratamiento de la fracción orgánica: .....	202
12.3.-INSTALACIÓN 2. PLANTA DE ELIMINACIÓN DE RECHAZOS DOS AGUAS .....	207
12.4.-INSTALACIÓN 3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE RSU DE MANISES .....	209
12.4.1.- Características técnicas: .....	210
12.4.2.-Descripción funcional del proceso .....	210
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>220</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>218</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Proceso de elaboración de los documentos BREF .....	21
Figura 1.2.- Sistema de gestión de RSU .....	22
Figura 1.3.- Evolución de generación de residuos urbanos en España.....	22
Figura 1.4.- Generación de residuos urbanos en Europa en 2009 .....	23
Figura 2.1.- Bomba calorimétrica .....	57
Figura 3.1.- Molino de martillos.....	66
Figura 3.2.- Cuba trituradora .....	67
Figura 3.3.- Criba vibratoria .....	69
Figura 3.4.- Criba de discos .....	70
Figura 3.5.- Clasificador neumático .....	71
Figura 3.6.- Separador magnético .....	72
Figura 3.7.- Separador por corrientes de Foucault .....	73
Figura 3.8.- Compactadora estacionaria .....	74
Figura 3.9.- Empacadora.....	75
Figura 3.10.- Cinta transportadora .....	76



Figura 3.11.- Separación manual de residuos .....	77
Figura 4.1.- Recolección de residuos en la acera .....	78
Figura 4.2.- Vehículo satélite .....	79
Figura 4.3.- Contenedor de gran capacidad .....	80
Figura 4.4.- Recolección doméstica en acera de productos separados en origen.....	80
Figura 4.5.- Camión Volquete .....	81
Figura 4.6.- Vehículo de recolección cargado mecánicamente.....	83
Figura 4.7.- Sistema de recogida neumática de residuos.....	87
Figura 4.8.- Contenedor de 110 l de metal galvanizado.....	88
Figura 5.1.- Carga directa en vehículos de gran capacidad sin compactar Error! Marcador no definido.	
Figura 5.2.- Carga directa en vehículos de gran capacidad con compactadora .....	94
Figura 6.1.- Esquema del proceso de compostaje .....	100
Figura 6.2.- El ciclo del compostaje .....	101
Figura 6.3.- Evolución de la temperatura (-) y el pH (--) durante el proceso de maduración..	103
Figura 6.4.- Nivel de oxígeno durante el compostaje en una pila volteada semanalmente ..	107
Figura 6.5.- Volteadora trabajando en campo .....	108
Figura 6.6.- Sistema de compostaje en pilas estáticas aireadas .....	108
Figura 6.7.- Sistema de pila estática con aireación forzada por succión .....	109
Figura 6.8.- Reactor de lecho empaquetado tipo silo .....	111
Figura 6.9.- Reactor circular de lecho agitado.....	112
Figura 6.10.- Reactor circular dinámico .....	112
Figura 6.11.- Ejemplos de compostaje tipo “cajón”.....	112
Figura 6.12.- Sistema de compostaje en canales o trincheras.....	113
Figura 6.13.- Tambor rotativo .....	114
Figura 6.14.- Esquema de compostaje en tambores rotativos .....	114
Figura 6.15.- Reactor tipo túnel .....	115
Figura 6.16.- Compostaje en contenedores a gran escala.....	116
Figura 7.1.- Esquema de reacciones de la digestión anaerobia .....	118
Figura 7.2.- Clasificación de las tecnologías de digestión anaerobia de residuos sólidos.....	120
Figura 7.3.- Tipos de digester empleados en la digestión anaerobia.....	121
Figura 8.1.- Filtro electrostático.....	133
Figura 8.2.- Filtro de Mangas .....	134
Figura 8.3.- Depuración por lavado: torre de lavado tipo spray y lavadores tipo Venturi ....	135
Figura 8.4.- Esquema de una planta incineradora .....	139



Figura 8.5.- Horno de parrillas .....	143
Figura 8.6.- Horno Rotativo .....	143
Figura 8.7.- Horno Volund mixto.....	144
Figura 8.8.- Horno de lecho fluidizado.....	145
Figura 9.1.- Fases de la operación de un vertedero.....	164
Figura 9.2.- Impermeabilización en vertederos de residuos peligrosos.....	168
Figura 9.3.- Impermeabilización en vertedero de residuos no peligrosos.....	168
Figura 9.4.- Impermeabilización en vertederos de residuos inertes .....	169
Figura 9.5.- Volumen de control .....	171
Figura 9.6.- Fases del proceso de la formación del biogás en un depósito controlado .....	177
Figura 9.7.- Sistema de recuperación del gas mediante chimeneas verticales.....	178
Figura 9.8.- Esquema de chimenea de desgasificación .....	179
Figura 9.9.- Esquema de distribución de chimeneas de desgasificación .....	180
Figura 9.10.- Capa de sellado de un vertedero de residuos peligrosos .....	181
Figura 9.11.- Capa de sellado de un vertedero de residuos no peligrosos .....	182
Figura 9.12.- Capa de sellado de un vertedero de residuos inertes.....	182
Figura 12.1.- Instalaciones de gestión de RSU gestionadas por EMTRE.....	195
Figura 12.2.- complejo de valorización de residuos: los hornillos.....	196
Figura 12.3.- valencia ciudad y área metropolitana.....	197
Figura 12.4.-Edificio de control de accesos.....	197
Figura 12.5.-lecho de biofiltro. Sistema de depuración del aire.....	198
Figura 12.6.- Líneas 1 y 2 de pretratamiento.....	199
Figura 12.7. -Prensado de los rechazos.....	201
Figura 12.8.-Módulo de recepción y almacenamiento.....	202
Figura 12.9.-Tunel de compostaje.....	204
Figura 12.10.-Sistema de tratamiento de aire (biofiltros).....	204
Figura 12.11.-Rotopala.....	206
Figura 12.12.-Proceso de refinado del compost final.....	206
Figura 12.13.- Proceso de tratamiento de lixiviados .....	207
Figura 12.14.-Planta de eliminación de rechazos dos aguas.....	208
Figura 12.15.- Planta de tratamiento de RSU de Manises.....	209
Figura 12.16.-Módulo de recepción y almacenamiento de residuos.....	211
Figura 12.17.-Separación balística.....	212
Figura 12.18.-Módulo de maduración de la fracción orgánica.....	216



**Figura 12.19.- Depuración del aire en los biofiltros.....217**  
**12.20 y 12.21.-tratamiento de lixiviados en depuradora.....218**

**INDICE DE TABLAS**

**Tabla 1.1.- Nomenclatura de los planes zonales del PIR 2013..... 37**  
**Tabla 2.1.- Peso específico de los residuos ..... 54**  
**Tabla 2.2.- Peso y humedad de los residuos ..... 55**  
**Tabla 2.3.- Características energéticas de los residuos..... 56**  
**Tabla 2.4.- Porcentaje en SV, LC y BF de los residuos ..... 59**  
**Tabla 2.5.- Componentes principales de olor en los residuos ..... 59**  
**Tabla 7.1.- Ventajas/Desventajas de los sistemas de tratamiento continuo y discontinuo ..124**  
**Tabla 8.1.- Impacto principal de la selección y pretratamiento de los residuos.....148**  
**Tabla 8.2.- Costes de tratamiento en incineradoras de parrilla de RSU.....156**  
**Tabla 8.3.- Costes para una incineradora de parrilla de RSU de 200000 t/año en Alemania.157**  
**Tabla 8.4.- Coste estimado de construcción y operación de una planta incineradora de RSU158**  
**Tabla 8.5.- Residuos tratados en la instalación de SIDOR en 1999. ....159**  
**Tabla 8.6.- Costes de inversión y operativos de la planta de gasificación de Lahti, Finlandia.163**  
**Tabla 9.1.- Datos típicos sobre la composición de los lixiviados .....170**  
**Tabla 9.2.- Componentes principales del biogás .....175**  
**Tabla 9.3.-Planificación autonómica en materia de residuos.....195**





## **1.- LEGISLACIÓN SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS**

### **1.1.-CONCEPTO DE RESIDUO**

De acuerdo con la legislación actualmente en vigor (Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados) se considera residuo a cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche, tenga la intención o la obligación de desechar.

### **1.2.-CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS**

#### **1.2.1.-Clasificación en función de su origen**

«Residuos domésticos»: los generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas, aparatos eléctricos, electrónicos, ropa, pilas, muebles, así como los escombros procedentes de obras de reparación domiciliaria, los similares a los anteriores generados en servicios e industrias, los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, animales domésticos muertos y los vehículos abandonados.

«Residuos comerciales»: los generados por la actividad propia del comercio, servicios de restauración, bares, oficinas, mercados, así como del resto del sector servicios.

«Residuos industriales»: residuos resultantes de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera.

#### **1.2.2.-Clasificación en función de su peligrosidad**

La determinación de los residuos que han de considerarse como residuos peligrosos y no peligrosos se hará de conformidad con la lista europea de residuos (LER) establecida en la Decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo de 2000.

### **1.3.- LEGISLACIÓN EUROPEA**

#### **1.3.1.- Criterios normativos**

Los residuos en la Unión Europea se eliminan mediante vertedero, incineración, reciclado y compostaje. Aunque cada vez progresan más el reciclado y la incineración, las cantidades de residuos que acaban en vertederos no disminuyen dado que la producción aumenta.

Por ello, la estrategia europea trata de crear nuevas posibilidades para disminuir al máximo su producción y peligrosidad, adoptando soluciones de minimización, reutilización y aprovechamiento energético. Sus objetivos fundamentales se pueden resumir en:

- Mejora del marco legislativo simplificando la legislación vigente fusionando directivas y eliminar solapamientos.
- Llevar a cabo una prevención del impacto negativo de los residuos, con un enfoque basado en el ciclo de vida de los productos, en todas sus etapas de la vida.
- Fomentar el reciclado de los residuos animando al sector a reintroducir los residuos en el ciclo económico, mediante productos de calidad.

El Sexto programa de acción de la Comunidad Europea en materia de Medio ambiente de 2001 tiene como objetivo velar por que el consumo de los recursos no supere el umbral de lo soportable por el medio ambiente optimizando su utilización, y la reducción de la producción de residuos en un 50% para 2050. Las acciones que se deben emprender son las siguientes:

- Elaboración de una estrategia para la gestión sostenible de los recursos mediante el establecimiento de prioridades y la reducción del consumo.
- Fiscalización de la utilización de los recursos y eliminación de las subvenciones que fomentan su utilización excesiva.
- Integración del principio de utilización eficaz de los recursos y la prevención de residuos en el marco de la política integrada de los productos, los sistemas de concesión de la etiqueta ecológica, los sistemas de evaluación medioambiental, y en la estrategia comunitaria relativa a las sustancias químicas.
- Diseño de una estrategia de reciclado de residuos
- Mejora de los sistemas existentes de gestión de residuos e inversión en la prevención cuantitativa y cualitativa.

### **1.3.2.- Relación de legislación europea**

REGLAMENTO (UE) Nº 664/2011 DE LA COMISIÓN de 11 de julio de 2011, por el que se modifica el Reglamento (CE) Nº 1013/2006, para incluir determinadas mezclas de residuos en su anexo IIIA.

DIRECTIVA 2006/21/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 15 de marzo de 2006, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE - Declaración del Parlamento Europeo, del Consejo y de la Comisión.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2009/358/CE de 29 de abril de 2009, relativa a la armonización, la transmisión periódica de información y el cuestionario a que se refieren el artículo 22, apartado 1, letra a), y el artículo 18 de la Directiva 2006/21/CE .

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2009/359/CE de 30 de abril de 2009, por la que se completa la definición de residuos inertes en aplicación del artículo 22, apartado 1, letra f), de la Directiva 2006/21/CE .

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2009/360/CE de 30 de abril de 2009, por la que se completan los requisitos técnicos para la caracterización de los residuos establecidos en la Directiva 2006/21/CE.

REGLAMENTO (CE) Nº 1420/1999 DEL CONSEJO, de 29 de abril de 1999, por el que se establecen normas y procedimientos comunes aplicables a los traslados de ciertos tipos de residuos a determinados países no miembros de la OCDE.

REGLAMENTO (CE) Nº 166/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 18 de enero de 2006, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo.

REGLAMENTO (CE) Nº 1418/2007 DE LA COMISIÓN, de 29 de noviembre de 2007, relativo a la exportación, con fines de valorización, de determinados residuos enumerados en los anexos III o IIIA del Reglamento (CE) nº 1013/2006, a determinados países a los que no es aplicable la Decisión de la OCDE sobre el control de los movimientos transfronterizos de residuos.

DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes.

REGLAMENTO (CE) Nº 1192/2006 DE LA COMISIÓN, de 4 de agosto de 2006, por el que se aplica el Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a las listas de plantas autorizadas en los Estados miembros.



DIRECTIVA 2006/66/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 6 de septiembre de 2006, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas.

DIRECTIVA 2008/103/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 19 de noviembre de 2008 , que modifica la Directiva 2006/66/CE, por lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2009/603/CE de 5 de agosto de 2009, por la que se establecen requisitos para el registro de productores de pilas y acumuladores de conformidad con la Directiva 2006/66/CE.

REGLAMENTO (UE) N° 493/2012 DE LA COMISIÓN de 11 de junio de 2012, por el que se establecen, de conformidad con la Directiva 2006/66/CE, normas detalladas para el cálculo de los niveles de eficiencia de los procesos de reciclado de los residuos de pilas y acumuladores.

DIRECTIVA 2013/56/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 20 de noviembre de 2013 por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE, por lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores portátiles que contengan cadmio, destinados a utilizarse en herramientas eléctricas inalámbricas, y de pilas botón con un bajo contenido de mercurio.

REGLAMENTO (CEE) N° 259/93 DEL CONSEJO, de 1 de febrero de 1993, relativo a la vigilancia y al control de los traslados de residuos en el interior, a la entrada y salida de la Comunidad Europea.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2000/532/CE de 3 de mayo de 2000, por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo.

REGLAMENTO (CE) N° 1445/2005 DE LA COMISIÓN, de 5 de septiembre de 2005, por el que se definen criterios de evaluación de la calidad apropiados y el contenido de los informes de calidad de las estadísticas sobre residuos a efectos del Reglamento (CE) n° 2150/2002.

DIRECTIVA 2008/99/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 19 de noviembre de 2008, relativa a la protección del medio ambiente mediante el Derecho penal.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2010/205/ de 31 de marzo de 2010, sobre el cuestionario de notificación contemplado en el Reglamento (CE) n o 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo.

REGLAMENTO (UE) N° 333/2011 DEL CONSEJO, de 31 de marzo de 2011, por el que se establecen criterios para determinar cuándo determinados tipos de chatarra dejan de ser residuos con arreglo a la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del consejo

REGLAMENTO (UE) N° 333/2011 DEL CONSEJO, de 31 de marzo de 2011, por el que se establecen criterios para determinar cuándo determinados tipos de chatarra dejan de ser residuos con arreglo a la Directiva 2008/98/CE.

REGLAMENTO (CE) N° 2150/2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de noviembre de 2002 relativo a las estadísticas sobre residuos.

REGLAMENTO (CE) N° 1774/2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 3 de octubre de 2002 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.

REGLAMENTO (UE) N° 1257/2013 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 20 de noviembre de 2013 relativo al reciclado de buques y por el que se modifican el Reglamento (CE) N° 1013/2006 y la Directiva 2009/16/CE.

REGLAMENTO (UE) N° 1179/2012 DE LA COMISIÓN, de 10 de diciembre de 2012, por el que se establecen criterios para determinar cuándo el vidrio recuperado deja de ser residuo con arreglo a la Directiva 2008/98/CE.

DIRECTIVA 2000/53/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los vehículos al final de su vida útil.

REGLAMENTO (CE) N° 1013/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 14 de junio de 2006, relativo a los traslados de residuos.

REGLAMENTO (UE) N° 413/2010 DE LA COMISIÓN, de 12 de mayo de 2010, por el que se modifican los anexos III, IV y V del Reglamento (CE) no 1013/2006 para tener en cuenta los cambios adoptados en virtud de la Decisión C (2008) 156 del Consejo de la OCDE.

DIRECTIVA 2002/96/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 27 de enero de 2003, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) - Declaración conjunta del Parlamento Europeo, el Consejo y la Comisión relativa al Artículo 9.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2008/105/CE de 11 de febrero de 2008, que modifica la Decisión 2004/432/CE, por la que se aprueban los planes de vigilancia presentados por terceros países relativos a los residuos, de conformidad con la Directiva 96/23/CE.

DIRECTIVA 2013/2/UE DE LA COMISIÓ de 7 de febrero de 2013 que modifica el anexo I de la Directiva 94/62/CE.

DIRECTIVA 2002/95/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 27 de enero de 2003, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

REGLAMENTO (CE) N° 1102/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 22 de octubre de 2008, relativo a la prohibición de la exportación de mercurio metálico y ciertos compuestos y mezclas de mercurio y al almacenamiento seguro de mercurio metálico.

REGLAMENTO (CE) N° 1069/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 21 de octubre de 2009 , por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano.

DIRECTIVA 2009/1/CE DE LA COMISIÓ, de 7 de enero de 2009, por la que se modifica, para su adaptación al progreso técnico, la Directiva 2005/64/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la homologación de tipo de los vehículos de motor en lo que concierne a su aptitud para la reutilización, el reciclado y la valorización.

REGLAMENTO (CE) N° 213/2008 DE LA COMISIÓ, de 28 de noviembre de 2007 , que modifica el Reglamento (CE) n° 2195/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se aprueba el Vocabulario común de contratos públicos (CPV), y las Directivas 2004/17/CE y 2004/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los procedimientos de los contratos públicos, en lo referente a la revisión del CPV.

DIRECTIVA 2008/33/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 11 de marzo de 2008 , que modifica la Directiva 2000/53/CE, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión.

DECISIÓ DE LA COMISIÓ 2005/437/CE de 10 de junio de 2005, por la que se modifica el anexo II de la Directiva 2000/53/CE.

DECISIÓ DE LA COMISIÓ 2009/548/CE de 30 de junio de 2009, por la que se establece un modelo para los planes de acción nacionales en materia de energía renovable en virtud de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

DECISIÓ DE LA COMISIÓ 2008/50/CE de 13 de diciembre de 2007 , por la que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n° 1367/2006 del Parlamento Europeo y del

Consejo relativo al Convenio de Aarhus en lo que respecta a las solicitudes de revisión interna de actos administrativos.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2001/118/CE de 16 de enero de 2001, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE en lo que se refiere a la lista de residuos.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2004/249/CE de 11 de marzo de 2004, relativa al cuestionario para los informes de los Estados miembros a cerca de la aplicación de la Directiva 2002/96/CE.

DIRECTIVA 2005/20/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 9 de marzo de 2005, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases.

DIRECTIVA 1999/31/CE DEL CONSEJO, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.

REGLAMENTO (CE) N° 669/2008 DE LA COMISIÓN, de 15 de julio de 2008, por el que se completa el anexo IC del Reglamento (CE) n o 1013/2006.

REGLAMENTO (CE) N° 967/2009 DE LA COMISIÓN, de 15 de octubre de 2009, por el que se modifica el Reglamento (CE) n o 1418/2007, relativo a la exportación, con fines de valorización, de determinados residuos a determinados países no miembros de la OCDE.

DECISIÓN DEL CONSEJO 2003/33/CE de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE.

DIRECTIVA 2009/148/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 30 de noviembre de 2009, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo.

REGLAMENTO (CE) N° 1547/1999 DE LA COMISIÓN de 12 de julio de 1999 por el que se determinan, con arreglo al Reglamento (CEE) n° 259/93 del Consejo, los procedimientos de control que deberán aplicarse a los traslados de algunos residuos a determinados países a los que no es aplicable la Decisión C (92)39 final de la OCDE.

DIRECTIVA 2010/75/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).

DIRECTIVA 2004/12/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 11 de febrero de 2004, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE

REGLAMENTO (CE) N° 596/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 18 de junio de 2009, por el que se adaptan a la Decisión 1999/468/CE del Consejo determinados actos sujetos al

procedimiento establecido en el artículo 251 en lo que se refiere al procedimiento de reglamentación con control.

DIRECTIVA 2008/12/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 11 de marzo de 2008, por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión.

DIRECTIVA 2008/35/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 11 de marzo de 2008, que modifica la Directiva 2002/95/CE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión.

DIRECTIVA 2008/34/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 11 de marzo de 2008, por la que se modifica la Directiva 2002/96/CE, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2009/335/CE de 20 de abril de 2009, por la que se establecen las directrices técnicas para la constitución de la garantía financiera prevista en la Directiva 2006/21/CE.

DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2008/689/CE de 1 de agosto de 2008, que modifica el anexo II de la Directiva 2000/53/CE.

DIRECTIVA 96/59/CE DEL CONSEJO de 16 de septiembre de 1996 relativa a la eliminación de los policlorobifenilos y de los policloroterfenilos (PCB/PCT).

REGLAMENTO (CE) N° 783/2005 DE LA COMISIÓN, de 24 de mayo de 2005, por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) n° 2150/2002.

REGLAMENTO (CE) N° 782/2005 DE LA COMISIÓN de 24 de mayo de 2005 sobre la determinación del formato para la transmisión de resultados de estadísticas sobre residuos.

DIRECTIVA 75/439/CEE DEL CONSEJO, de 16 de junio de 1975, relativa a la gestión de aceites usados.

REGLAMENTO (CE) N° 1367/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 6 de septiembre de 2006, relativo a la aplicación, a las instituciones y a los organismos comunitarios,



de las disposiciones del Convenio de Aarhus sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

DIRECTIVA 2005/64/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 26 de octubre de 2005 , relativa a la homologación de tipo de los vehículos de motor en lo que concierne a su aptitud para la reutilización, el reciclado y la valorización y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE.

REGLAMENTO (UE) N ° 142/2011 DE LA COMISIÓN, de 25 de febrero de 2011, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n ° 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano, y la Directiva 97/78/CE del Consejo en cuanto a determinadas muestras y unidades exentas de los controles veterinarios en la frontera en virtud de la misma Texto pertinente a efectos del EEE.

REGLAMENTO (UE) N° 715/2013 DE LA COMISIÓN de 25 de julio de 2013 por el que se establecen criterios para determinar cuándo la chatarra de cobre deja de ser residuo con arreglo a la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

REGLAMENTO (CE) N° 574/2004 DE LA COMISIÓN, de 23 de febrero de 2004, por el que se modifican los anexos I y III del Reglamento (CE) n° 2150/2002.

DIRECTIVA 2006/12/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos.

REGLAMENTO (CE) N° 1379/2007 DE LA COMISIÓN, de 26 de noviembre de 2007, por el que se modifican los anexos IA, IB, VII y VIII del Reglamento (CE) n° 1013/2006, para adaptarlos al progreso técnico y a los cambios acordados en el marco del Convenio de Basilea.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2009/851/CE de 25 de noviembre de 2009, por la que se crea un cuestionario para los informes de los Estados miembros acerca de la aplicación de la Directiva 2006/66/CE.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN 2003/138/CE de 27 de febrero de 2003, por la que se establecen las normas de codificación de los componentes y materiales para vehículos en aplicación de la Directiva 2000/53/CE.

REGLAMENTO (CE) N° 282/2008 DE LA COMISIÓN, de 27 de marzo de 2008, sobre los materiales y objetos de plástico reciclado destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2023/2006.

REGLAMENTO (UE) N ° 849/2010 DE LA COMISIÓ, de 27 de septiembre de 2010, por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2150/2002.

DIRECTIVA 2000/76/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 4 de diciembre de 2000 relativa a la incineración de residuos.

DIRECTIVA 2008/1/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y control integrados de la contaminación.

DIRECTIVA 2004/35/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños

REGLAMENTO (CE) N° 740/2008 DE LA COMISIÓ, de 29 de julio de 2008, que modifica el Reglamento (CE) N° 1418/2007 por lo que se refiere a los procedimientos que deben seguirse para la exportación de residuos a determinados países.

REGLAMENTO (CE) N O 221/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 11 de marzo de 2009, por el que se modifica el Reglamento (CE) N° 2150/2002, en lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión.

DIRECTIVA 2011/37/UE DE LA COMISIÓ, de 30 de marzo de 2011, que modifica el anexo II de la Directiva 2000/53/CE.

DECISIÓ DE LA COMISIÓ 2009/800/CE de 30 de octubre de 2009, que modifica la Decisió 2004/432/CE, por la que se aprueban planes de vigilancia presentados por terceros países relativos a los residuos, de conformidad con la Directiva 96/23/CE del Consejo.

DIRECTIVA 82/883/CEE DEL CONSEJO, de 3 de diciembre de 1982, relativa a las modalidades de supervisión y de control de los medios afectados por los residuos procedentes de la industria del dióxido de titanio.

DIRECTIVA 91/689/CEE DEL CONSEJO, de 12 de diciembre de 1991, relativa a los residuos peligrosos.

DIRECTIVA 94/62/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases.

DIRECTIVA 2003/108/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 8 de diciembre de 2003, por la que se modifica la Directiva 2002/96/CE.

DIRECTIVA 2009/31/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al almacenamiento geológico de dióxido.

### 1.3.3.- Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles

En el marco de la Unión Europea, se establece, un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias para la elección de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) que deben servir de referencia a al objetivo tecnológico de aplicación a las diferentes actividades.

Por ello, la Comisión Europea a través de la Oficina Europea de IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), situada en el Instituto de Estudios de Prospectiva Tecnológica (IPTTS) en Sevilla, ha organizado una serie de grupos de trabajo técnico que proponen a la Comisión los Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles.

Los BREFs informarán a las autoridades competentes sobre qué es técnica y económicamente viable para cada sector industrial, en orden a mejorar sus actuaciones medioambientales.

El Ministerio de Medio Ambiente, ha asumido la tarea, de acuerdo con los mandatos de la Directiva IPPC y de la Ley 16/2002, de llevar a cabo un correcto intercambio de información en materia de MTD. Actualmente hay 33 BREFs aprobados por la Comisión Europea:

1. BREF Aguas y Gases residuales de la industria Química
2. BREF Cemento y Cal
3. BREF Cerámica
4. BREF Cloro-sosa
5. BREF Curtidos
6. BREF Eficiencia energética
7. BREF Emisiones en Almacenamientos
8. BREF Especialidades Químicas Inorgánicas
9. BREF Fabricación de Polímeros
10. BREF Forja y Fundición
11. BREF Grandes Instalaciones de Combustión
12. BREF Granjas
13. BREF Incineración de Residuos
14. BREF Industria Alimentaria
15. BREF Industria Química Inorgánica GVP (Amoniaco, ácidos y abonos)
16. BREF Industria Química Inorgánica GVP (Sólidos y otros)
17. BREF Industria Textil
18. BREF IPPC. Efectos económicos y cruzados
19. BREF Mataderos
20. BREF Metalurgia Férrea
21. BREF Metalurgia no Férrea I

22. BREF Monitorización de Emisiones
23. BREF Pasta y Papel
24. BREF Química Orgánica GVP
25. BREF Química Orgánica Fina
26. BREF Refinerías
27. BREF Refrigeración y Vacío
28. BREF Residuos de Minería
29. BREF Siderurgia
30. BREF Tratamiento de Residuos
31. BREF Tratamientos Superficiales
32. BREF Tratamiento de superficies con disolventes orgánicos
33. BREF Vidrio

### **Composición y funciones de los grupos de trabajo técnico**

Están formados entre cuarenta y cien expertos de los Estados miembros, de la industria y de organizaciones no gubernamentales. Se encargan de suministrar la información y los datos para elaborar los borradores de documentos sobre las MTD para cada una de las actividades indicadas en el Anexo I de la Directiva 96/61/CE. Discuten sobre estos borradores, únicamente desde un punto de vista técnico, hasta obtener documentos consensuados o propuestas de BREF.

El procedimiento utilizado para elaborar y revisar un BREF incluye reuniones plenarias, reuniones en subgrupos, visitas a instalaciones y presentación de borradores para recibir comentarios.

La Comisión europea, mediante la Dirección General de Medio Ambiente, establece el Foro de Intercambio de Información (IEF), formado por representantes oficiales de los Estados miembros, de la Comisión, de la industria y de ONG. Se encarga de hacer cumplir el artículo 13 de la Directiva 2010/75/UE de emisiones industriales, relativo a los documentos de referencia MTD e intercambio de información.

### **Participación en el proceso de elaboración de los documentos BREF**

Cualquier ciudadano de la Unión Europea puede hacer aportaciones o proponer enmiendas a los diferentes borradores que se van desarrollando. Son un punto muy importante ya que el documento BREF final se elabora a partir de todas las aportaciones recibidas.

Dado que las MTD tienen implicación en las autorizaciones ambientales, es relevante mejorar el grado de participación del proceso de revisión de los documentos BREF. La comisión debe tratar de actualizar los documentos de referencia MTD a más tardar 8 años de la publicación anterior.

La Directiva de Emisiones Industriales establece que las conclusiones sobre las MTD deben constituir la referencia para el establecimiento de las condiciones del permiso para la explotación de una instalación. Deben ser adoptadas mediante decisiones de la Comisión Europea, establecen las conclusiones sobre las MTD, su descripción, la información para evaluar su aplicación, los niveles de emisión, las monitorizaciones asociadas, los niveles de consumo asociados y medidas de rehabilitación del emplazamiento.

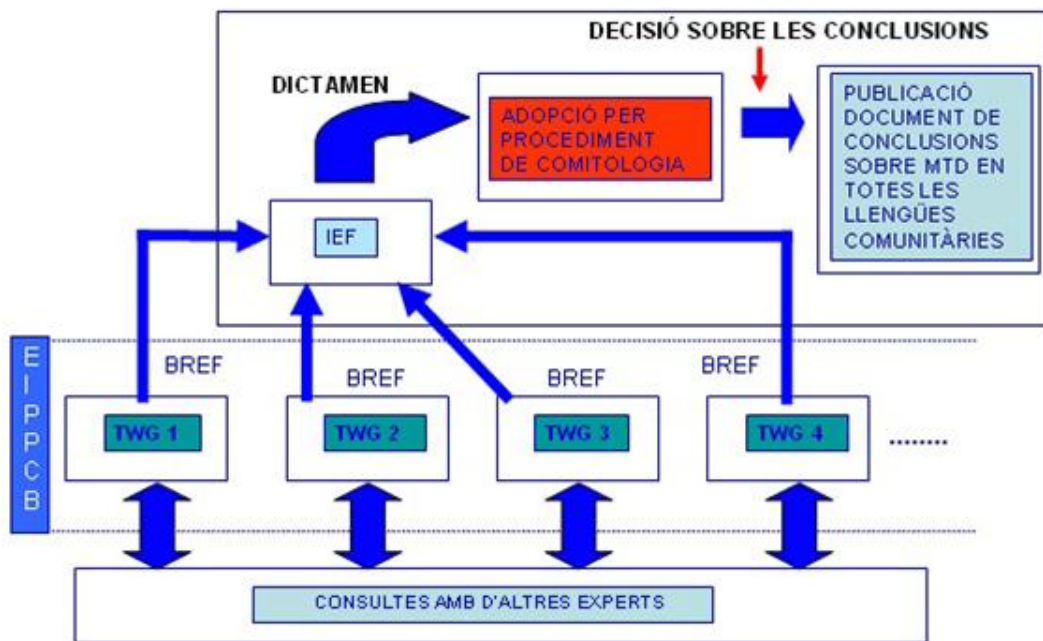


Figura 1.1.- Proceso de elaboración de los documentos BREF

Fuente: [www20.gencat.cat](http://www20.gencat.cat)

## 1.4.- LEGISLACIÓN ESTATAL

### 1.4.1.- Criterios normativos

El sistema establecido para la recuperación y posterior reciclaje de los residuos se basa en un sistema separativo de recogida de para recibir cada uno de los residuos un tratamiento específico.

Durante 2010 las actuaciones del MARM en materia de residuos se han enmarcado dentro del Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 (PNIR), a la vez que se ha desarrollado una intensa actividad legislativa con la transposición de la Directiva Marco de Residuos (DMR) a nuestro ordenamiento jurídico.

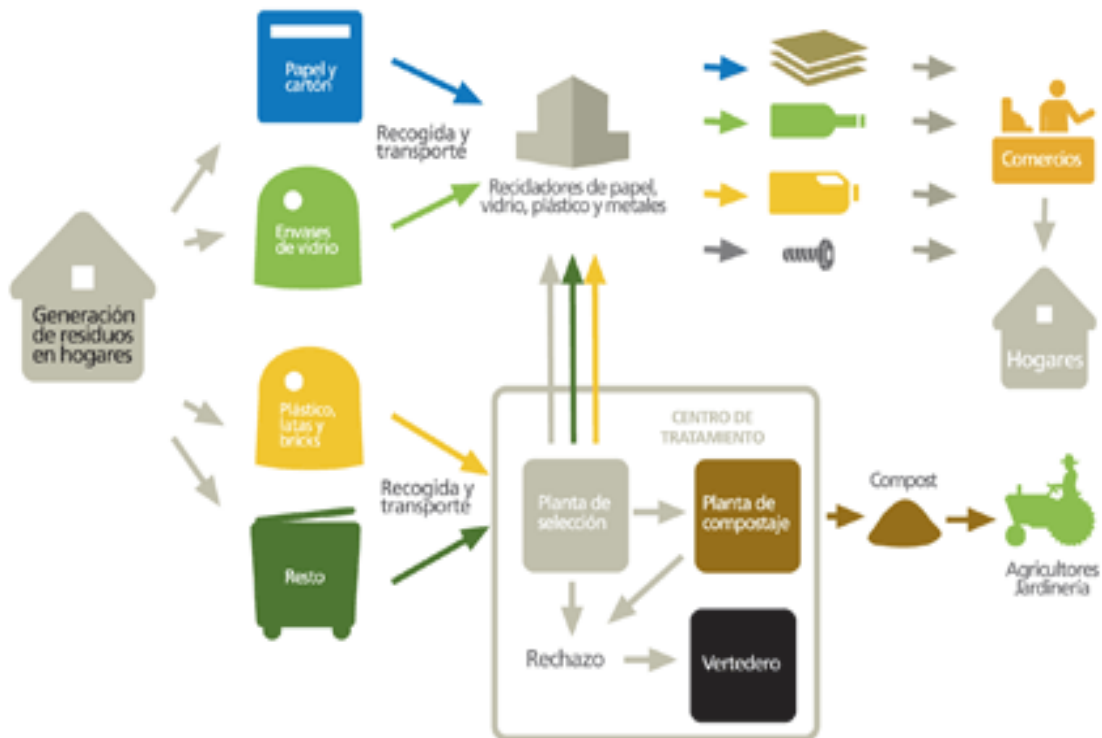


Figura 1.2.- Sistema de gestión de RSU Fuente: <http://www.limasa3.es>

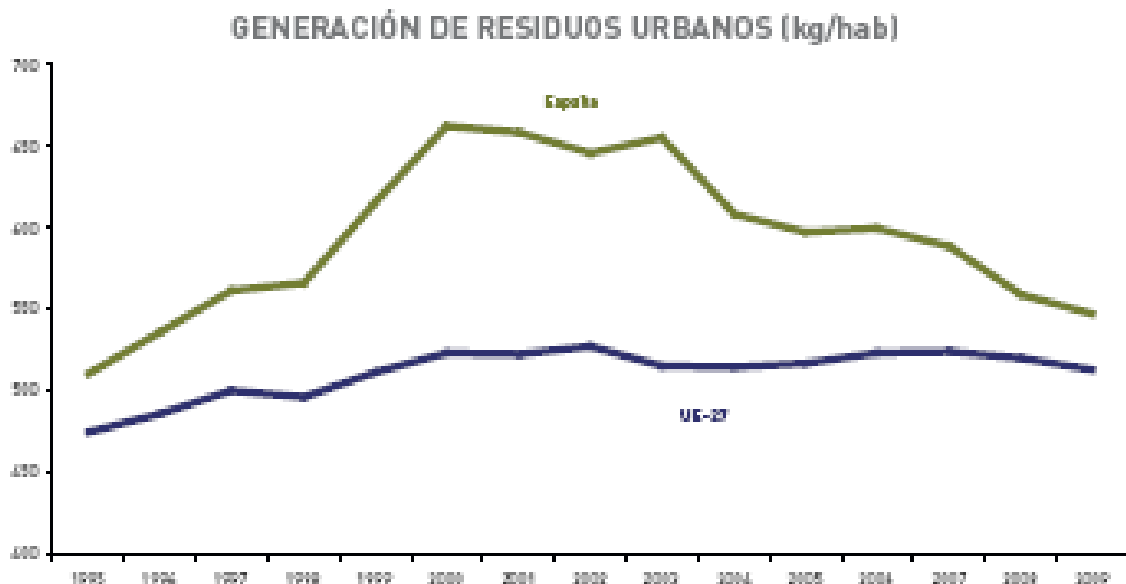
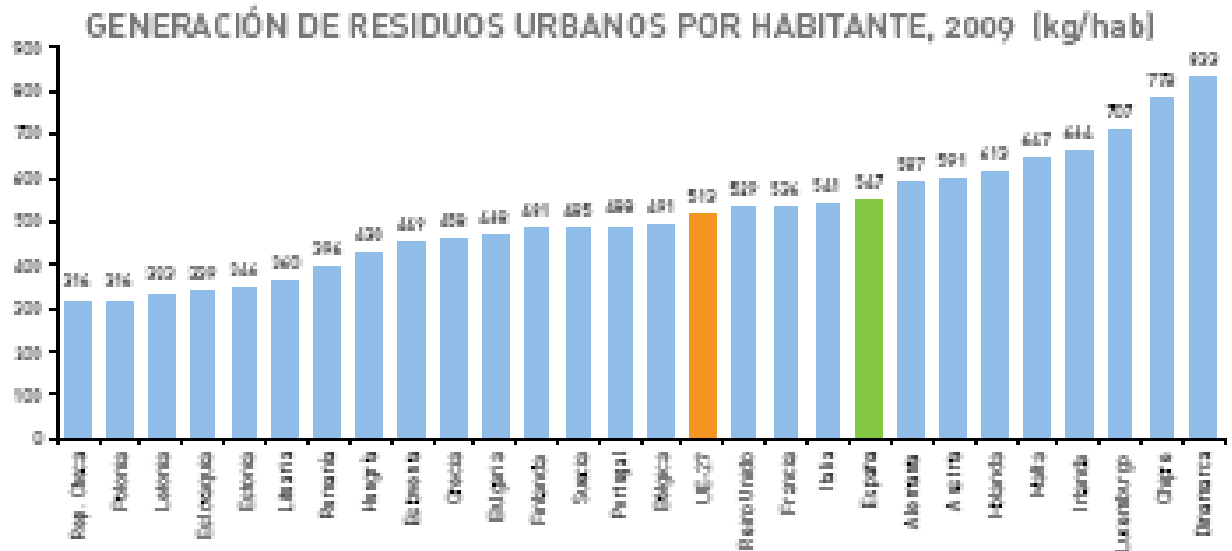


Figura 1.3.- Evolución de generación de residuos urbanos en España Fuente: <http://www.magrama.gob.es/>

En 2009 se generaron 547 Kg de residuos urbanos por habitante, manteniendo la tendencia de descenso iniciada en 2003. En el entorno europeo, España ocupó en 2009 la novena posición en generación de residuos por habitante, posición similar a la del año anterior.



Fuente: <http://www.magrama.gob.es/>

Figura 1.4.- Generación de residuos urbanos en Europa en 2009

Se ha desarrollado el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020 cuyo objetivo es avanzar hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos de la Estrategia 2020.

Este programa de la Unión europea, desarrolla la política de prevención de residuos, conforme a la normativa vigente para avanzar en el cumplimiento del objetivo de reducción en 2020 en un 10% respecto del peso de los residuos generados en 2010. Describe la situación actual de la prevención en España, realiza un análisis de las medidas de prevención existentes y valora la eficacia de las mismas. Se configura en torno a varias líneas estratégicas:

- Reducción de la cantidad de residuos, del contenido de sustancias nocivas en materiales y productos y de los impactos adversos sobre la salud y el medio ambiente.
- Reutilización y alargamiento de la vida útil de los productos.

### Objetivos generales del PNIR

- Modificar la tendencia actual del crecimiento de la generación y reducir la contribución de los residuos al cambio climático fomentando las medidas de mayor potencial.
- Disminuir el vertido y fomentar de forma eficaz la prevención y la reutilización, así como otras formas de valorización de la fracción no reciclable y erradicar el vertido ilegal.
- Completar las infraestructuras de tratamiento y mejorar el funcionamiento de las instalaciones existentes.
- Obtener estadísticas fiables en materia de infraestructuras, empresas gestoras, producción y gestión de residuos.
- Evaluar los Instrumentos económicos y en particular los fiscales que se han puesto en práctica para promover cambios en los sistemas de gestión existentes. Identificar la conveniencia de su implantación en todas las Comunidades Autónomas.
- Consolidación de los programas de I+D+i aplicados a los diferentes aspectos de la gestión de los residuos, incluyendo análisis de la eficiencia de los sistemas de recogida, optimización de los tratamientos y evaluación integrada de los procesos completos de gestión, desde la generación hasta la eliminación.

### Objetivos y medidas específicas del PNIR

PREVENCIÓN		
	Objetivos cualitativos	Objetivos cuantitativos
<b>Objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilizar la generación de residuos urbanos de origen domiciliario en una primera etapa y posteriormente tender a su reducción.</li> <li>-Reducir la cantidad y nocividad de los residuos de envases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bolsas comerciales de un solo uso: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución del 50% a partir de 2010</li> <li>• Calendario de sustitución de plásticos no biodegradables y prohibición progresiva en vigor en 2010</li> </ul> </li> </ul>
<b>Medidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acuerdos voluntarios con los agentes económicos que participan en la cadena de envasado y comercialización para fomentar la prevención de residuos de envases: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En cantidad, por ejemplo, potenciando la venta de productos frescos a granel, etc. En particular, acuerdos con los sectores de la distribución para reducir la generación de residuos de bolsas de un solo uso.</li> <li>• En su impacto sobre el medio ambiente, por ejemplo sustituyendo materiales no biodegradables por otros de mayor biodegradabilidad o reciclabilidad, etc. En particular, la sustitución de las bolsas de plástico de un solo uso no biodegradables por bolsas de material biodegradable.</li> </ul> </li> <li>- Fomento del ecodiseño con fines de prevención.</li> <li>- Continuación y ampliación de los programas de compostaje doméstico y comunitario.</li> <li>- Campañas para la información y sensibilización orientadas a los consumidores, empresas y servicios para enfatizar el papel que éstos que juegan en la mayor o menor producción de residuos, en particular para reducir los residuos de envases.</li> </ul>	



REUTILIZACIÓN			
Objetivos cualitativos		Objetivos cuantitativos	
<b>Objetivos</b>	<p>- Conocer los niveles de reutilización de residuos urbanos de origen domiciliario, para fijar un programa de reutilización efectivo en la segunda revisión el Plan.</p> <p>- Aumentar la reutilización de envases de vidrio para determinados alimentos líquidos, especialmente en el canal HORECA, y de envases industriales y comerciales.</p>		% HORECA
		Aguas envasadas	60
		Cerveza	80
		Bebidas refrescantes	80
		Vino	50
		<p>Estos porcentajes podrán ser modificados en la primera revisión del plan a la luz de la mejora de la información.</p> <p>Establecimiento de porcentajes de reutilización para diferentes tipos de envases comerciales e industriales en la primera revisión del Plan, en particular bidones.</p>	
<b>Medidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acuerdos voluntarios para promover el uso de envases reutilizables: por ejemplo: bolsas reutilizables en comercios y grandes superficies, envases de vidrio para determinados alimentos, especialmente en el canal HORECA y similares, establecimiento de SDDR y perfeccionamiento de los existentes, etc.</li> <li>• Fomento de los mercados de segunda mano (electrodomésticos, muebles, ropa).</li> <li>• Adopción de una norma para que las administraciones adquirieran productos, en especial alimentos líquidos, en envases reutilizables en todas sus dependencias.</li> </ul>		

RECICLADO					
Objetivos cualitativos		Objetivos cuantitativos			
<b>Objetivos</b>	<p>- Aumento del compostaje y de la biometanización de la fracción orgánica recogida selectivamente.</p> <p>- Conversión gradual de las plantas de triaje y compostaje de residuos mezcla en plantas para el tratamiento mecánico biológico previo a la eliminación.</p> <p>- Garantizar y verificar el cumplimiento de los objetivos legales en materia de reciclado y valorización de residuos de envases.</p> <p>- Aumentar las tasas de reciclado de los materiales presentes en los residuos urbanos de origen domiciliario.</p> <p>- Incremento de las toneladas recogidas selectivamente de fracciones procedentes de otros canales de recogida HORECA</p>	<p>Durante el período de vigencia del Plan:</p> <p>Incrementar la cantidad de fracción orgánica recogida selectivamente como mínimo a 2 millones de toneladas para destinarla a instalaciones de compostaje o biometanización de FORS.</p> <p>Incremento de las toneladas recogidas de las siguientes fracciones procedentes de recogida selectiva en 2006:</p>			
			Incremento (año 2006)	kg/hab/año 2006	t 2015 kg/hab/a
		Papel	80%	20	1.620.000
		Vidrio	80%	12	996.300
		Plástico	100%	3	230.000
		Metales	100%	1	92.000
		<p>Estos porcentajes podrán ser modificados en la primera revisión del plan.</p>			
<b>Medidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de acuerdos voluntarios, convenios de colaboración, proyectos piloto para implantar la recogida selectiva de la fracción orgánica y de residuos verdes de parques y jardines en municipios, grandes generadores, HORECA, entornos rurales, etc.</li> <li>• Establecimiento de acuerdos voluntarios, convenios de colaboración, proyectos para impulsar la recogida selectivas de papel/cartón, vidrio, metales, plásticos, tanto en el canal doméstico como otros canales de recogida.</li> <li>• Adopción de una norma española sobre recogida selectiva de fracción orgánica, tratamiento biológico y producción de compost de calidad.</li> <li>• Evaluación los sistemas de recogida de residuos implantados y otros posibles, con la finalidad de modificar o cambiar a sistemas de recogida más eficientes</li> <li>• Impulso a la recogida selectiva de medicamentos a través de las oficinas de farmacia, de</li> </ul>				

	<p>ropa usada, de residuos voluminosos, de residuos de aceites vegetales, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliación de la red actual de puntos limpios: se dotará a todos los municipios de más de 5000 hab. antes del 2010 y a todos los de más de 2000 hab. antes de 2015.</li> <li>• Construcción de estaciones de transferencia hasta completar la dotación necesaria para cubrir el territorio nacional.</li> <li>• Campañas de información y sensibilización orientadas a enfatizar el papel que juegan los consumidores en la separación en origen de distintas fracciones de los residuos</li> <li>• Colaboración con la Red Española de Compostaje para el desarrollo de trabajos técnicos encaminados a optimizar el rendimiento de las plantas de compostaje y biometanización disponibles. Realización y difusión de una guía para el buen funcionamiento de estas instalaciones.</li> <li>• Reorientación de las instalaciones de biometanización hacia el tratamiento de la fracción orgánica recogida selectivamente.</li> <li>• Optimización del funcionamiento de las instalaciones de clasificación de envases y de tratamiento mecánico de fracción resto para aumentar la recuperación de materiales.</li> <li>• Fomento del empleo de los materiales procedentes del reciclado de los residuos, en sustitución de materias primas e impulso de estos productos</li> <li>• Realización de una guía de aplicación del compost a los cultivos agrícolas, jardinería, etc.</li> </ul>					
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA						
	Objetivos cualitativos	Objetivos cuantitativos				
<b>Objetivos</b>	<p>2012: Incrementar la capacidad de incineración con recuperación de energía de las incineradoras de 2006. Las nuevas incineradoras deberán cumplir el valor de eficiencia energética establecido en la DMR. Valorar el aprovechamiento del contenido energético de la fracción rechazo procedente de las instalaciones de tratamiento de residuos urbanos en instalaciones de co-incineración en las condiciones establecidas o que puedan establecerse en las CCAA. Correcta gestión ambiental de los residuos generados en la valorización energética.</p>	<p>Incineración de RSU</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cantidad de incineración en 2006 (millones de t)</th> <th>Capacidad Objetivo 2012 (millones de t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,1</td> <td>2,7</td> </tr> </tbody> </table>	Cantidad de incineración en 2006 (millones de t)	Capacidad Objetivo 2012 (millones de t)	2,1	2,7
Cantidad de incineración en 2006 (millones de t)	Capacidad Objetivo 2012 (millones de t)					
2,1	2,7					
<b>Medidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptación a los criterios ecológicos, energéticos y de eficiencia derivados de la legislación de la UE de las incineradoras de RU actualmente en funcionamiento.</li> <li>• Caracterización de la fracción de los RU destinados a valorización energética.</li> <li>• Establecimiento de criterios ecológicos y energéticos para la fracción de RU incinerable.</li> <li>• Desarrollo de trabajos técnicos encaminados a la valorización de las escorias obtenidas en el proceso de incineración. Aplicación, en su caso, de las conclusiones alcanzadas.</li> </ul>					

DISPOSICIÓN FINAL						
	Objetivos cualitativos	Objetivos cuantitativos				
<b>Objetivos</b>	<p>Reducir la cantidad de residuos destinados a vertido y en especial la fracción biodegradable, en particular la fracción orgánica y el papel/cartón. Erradicar el vertido ilegal que ocasiona daños al medio ambiente y la salud humana mediante la aplicación del Programa de Acción contra el vertido ilegal. Aplicar de forma eficiente la legislación en materia de vertido.</p>	<p>Reducir la cantidad de Refuse-derived fuel destinada al vertido en 2006 para cumplir el objetivo establecido en la normativa de vertido.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RMS vertido en 2006 (t)</th> <th>RMS vertido en 2016 (t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.768.299</td> <td>4.176.950</td> </tr> </tbody> </table>	RMS vertido en 2006 (t)	RMS vertido en 2016 (t)	7.768.299	4.176.950
RMS vertido en 2006 (t)	RMS vertido en 2016 (t)					
7.768.299	4.176.950					

	Incrementar el control de su cumplimiento mediante la aplicación del régimen de inspección y comprobación.	
<b>Medidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuación de la aplicación del Plan de Acción de Vertederos.</li> <li>• Continuación con el programa de captación de biogás en vertederos.</li> <li>• Adopción de medidas específicas para aplicar el artículo 11 del Real Decreto 1481/2001 sobre repercusión de los costes totales de vertido vía precios de admisión. Evaluación del coste íntegro del vertido.</li> <li>• Adopción de medidas específicas para el cumplimiento del artículo 12 del RD 1481/2001 sobre procedimiento de admisión de residuos, así como de la Decisión 2003/33/CE por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertedero.</li> </ul>	

<b>Planes y programas de las Comunidades Autónomas</b>		
<b>Andalucía</b>	Plan Director Territorial de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019 aprobado por el Decreto 397/2010, de 2 de noviembre Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos de Andalucía 2012-2020 aprobado por el Decreto 7/2012, de 17 de enero	
<b>Aragón</b>	Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (GIRA) (2009-2015). Aprobado por la ORDEN de 22 de abril de 2009, del Consejero de Medio Ambiente, por la que se da publicidad al Acuerdo del Gobierno de Aragón de fecha 14 de abril de 2009).	
<b>Asturias</b>	Actualmente en tramitación el Plan Estratégico de Residuos del Principado de Asturias PERPA 2014-2024. Incluye el Programa de Prevención de Residuos de Asturias.	
<b>Baleares</b>	Mallorca: Plan Director Sectorial de Residuos sólidos urbanos. Revisión aprobada por el Pleno de 6 de febrero de 2006, BOIB 35 de 09/03/2006. Mallorca: Plan Director Sectorial para la Gestión de los Residuos de Construcción, Demolición, Voluminosos y Neumáticos fuera de uso de la isla de Mallorca. Aprobado por el Pleno de 08/04/2002, BOIB 05.16.2002, TEXTO REFUNDIDO BOIB 141 de 23/11/2002. Plan Director Sectorial para la gestión de los residuos no peligrosos de Menorca . Ibiza y Formentera: Plan Director Sectorial para la gestión de los residuos urbanos de Eivissa Y Formentera. <i>Aprobado mediante Decreto 46/2001, de 30 de marzo.</i>	
<b>Canarias</b>	Plan Integral de Residuos de Canarias, Aprobado mediante Decreto 161/2001, de 30 de julio (BOC nº 134, de lunes 15/OCT/2001). Planes insulares en materia de residuos, en Tenerife y Fuerteventura.	
<b>Cantabria</b>	Plan de Residuos de Cantabria Planes Sectoriales de Residuos de Cantabria	
<b>Castilla-La Mancha</b>	Plan de Gestión de Residuos Urbanos de Castilla-La Mancha. Aprobado por Decreto 179/2009, de 24/11/2009. Plan de Gestión de Lodos Producidos en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de Castilla-La Mancha. Aprobado por Decreto 32/2007, de 17-04-2007(DOCM nº 83 de 20-04-2007). Plan de Residuos Peligrosos. Aprobado por Decreto 158/2001, de 5 junio . Plan de Castilla-La Mancha de Gestión n de Residuos de Construcción y Demolición. Aprobado por Decreto 189/2005, de 13-12-2005.	
<b>Castilla y León</b>	Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos Urbanos y Residuos de Envases de	

	<p>Castilla y León (2004-2010). Aprobado por el Decreto 18/2005, de 17 de febrero)</p> <p>Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos Industriales de Castilla y León (2006-2010). Aprobado por Decreto 48/2006, de 13 de julio, modificado por Decreto 45/2012, de 27 de diciembre</p> <p>Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos de Construcción y Demolición (2008-2010). Aprobado por Decreto 54/2008, de 17 de julio</p> <p>En tramitación: Plan Integral de Residuos de Castilla y León.</p>
<b>Cataluña</b>	<p>Programa de Gestión de Residuos Municipales de Catalunya (PROGEMIC 2007-2012). Aprobado por el DECRETO 87/2010, de 29 de junio</p> <p>Plan Territorial Sectorial de Infraestructuras de Gestión de Residuos Municipales de Cataluña. Aprobado por el DECRETO 16/2010, de 16 de febrero, por el que se aprueba el Plan territorial sectorial de Infraestructuras de gestión de residuos municipales</p> <p>Programa de gestión de residuos de la Construcción a Cataluña y el canon sobre la deposición controlada de los residuos de la construcción (PROGROC 2007-2012). Aprobado por el DECRETO 89/2010, de 29 de junio</p> <p>Programa de gestión de residuos industriales de Cataluña (PROGRIC 2007-2012). Aprobado por el DECRETO 88/2010, de 29 de junio.</p> <p>En preparación: PROGRAMA GENERAL DE GESTIÓN DE RESIDUOS Y RECURSOS DE CATALUÑA 2013- 2020</p> <p>PLAN TERRITORIAL SECTORIAL DE INFRAESTRUCTURAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CATALUÑA 2013-2020</p>
<b>Extremadura</b>	<p>Plan Integral de Residuos de Extremadura 2009-2015. Aprobado por RESOLUCIÓN de 12 de abril de 2010, incluyendo un programa de prevención.</p>
<b>Galicia</b>	<p>Plan de Gestión de Residuos Urbanos de Galicia 2010-2020 RESOLUCIÓN de 7 de febrero de 2011, de la Secretaría General de Calidad y Evaluación Ambiental</p> <p>Programa de Prevención de Residuos Industriales de Galicia 2013-2016</p>
<b>Comunidad de Madrid</b>	<p>La Estrategia de Residuos de la Comunidad de Madrid, que incluye los siguientes planes regionales de residuos (2006-2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan Regional de Residuos Urbanos de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Residuos Industriales de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Residuos de Construcción y Demolición de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Residuos de PCBs de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Vehículos al final de su vida útil de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Neumáticos fuera de uso de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Lodos de Depuradora de la Comunidad de Madrid</li> <li>• Plan Regional de Suelos Contaminados de la Comunidad de Madrid</li> </ul> <p>Aprobada mediante Acuerdo de 18 de octubre de 2007, del Consejo de Gobierno</p> <p>En elaboración un programa de prevención de Residuos.</p>
<b>Murcia</b>	<p>En tramitación el Plan de Residuos de la Región de Murcia 2014-2020.</p> <p>En elaboración un programa de Prevención de Residuos de la Región de Murcia.</p>
<b>Navarra</b>	<p>Plan integrado de Gestión de Residuos de Navarra, incluye un programa de prevención.</p>
<b>País Vasco</b>	<p>Plan de gestión de residuos peligrosos</p> <p>Plan de suelos contaminados de la Comunidad Autónoma del País Vasco</p>



	III. Programa marco ambiental En tramitaci3n Plan de Prevenci3n y Gesti3n de Residuos 2014-2020.
<b>La Rioja</b>	Plan Director de Residuos de La Rioja 2007-2015. Aprobado mediante el Decreto 62/2008, de 14 de noviembre.
<b>Comunidad Valenciana</b>	Plan Integral de residuos de la Comunidad Valenciana, incluye el programa de Prevenci3n de Residuos.
<b>Ceuta</b>	En elaboraci3n el plan de Residuos de Ceuta.
<b>Melilla</b>	En tramitaci3n el Plan Integral de Gesti3n de Residuos de la Ciudad de Melilla

#### 1.4.2.- Relaci3n de legislaci3n

REAL DECRETO 517/2013, de 5 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 846/2011, de 17 de junio, por el que se establecen las condiciones que deben cumplir las materias primas a base de materiales poliméricos reciclados para su utilizaci3n en materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.

LEY 16/2002, de 1 de julio, de Prevenci3n y Control Integrados de la Contaminaci3n.

REAL DECRETO 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002.

LEY 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, y la Ley 22/2011.

LEY 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.

REAL DECRETO 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecuci3n de la Ley 11/1997.

REAL DECRETO 1304/2009, de 31 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1481/2001.

REAL DECRETO 243/2009, de 27 de febrero, por el que se regula la vigilancia y control de traslados de residuos radioactivos y combustible nuclear gastado entre Estados miembros o procedentes o con destino al exterior de la Comunidad.

REAL DECRETO 1383/2002, de 20 de diciembre, sobre gesti3n de vehículos al final de su vida útil.

REAL DECRETO 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gesti3n de neumáticos fuera de uso.

ORDEN AAA/1783/2013, de 1 de octubre, por la que se modifica el anejo 1 del Reglamento para el desarrollo y ejecuci3n de la Ley 11/1997, aprobado por Real Decreto 782/1998, de 30 de abril.

REAL DECRETO 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.

REAL DECRETO 252/2006, de 3 de marzo, por el que se revisan los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997, y por el que se modifica el Reglamento para su ejecución.

REAL DECRETO 1802/2008, de 3 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, con la finalidad de adaptar sus disposiciones al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo

LEY 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.

REAL DECRETO 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.

REAL DECRETO 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la Ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio.

REAL DECRETO 943/2010, de 23 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.

ORDEN de 21 de octubre de 1999 por la que se establecen las condiciones para la no aplicación de los niveles de concentración de metales pesados establecidos en el artículo 13 de la Ley 11/1997 en las cajas y paletas de plástico reutilizables que se utilicen en una cadena cerrada y controlada.

ORDEN de 12 junio de 2001 por la que se establecen las condiciones para la no aplicación a los envases de vidrio de los niveles de concentración de metales pesados establecidos en el artículo 13 de la Ley 11/1997.

REAL DECRETO 108/1991, de 1 de febrero, sobre la prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto.

REAL DECRETO 717/2010, de 28 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas y el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.

ORDEN INT/624/2008, de 26 de febrero, por la que se regula la baja electrónica de los vehículos descontaminados al final de su vida útil.

ORDEN INT/249/2004, de 5 de febrero, por la que se regula la baja definitiva de los vehículos descontaminados al final de su vida útil.

REAL DECRETO 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.

RESOLUCIÓN de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006 y el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006.

REAL DECRETO 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

RESOLUCIÓN de 28 de abril de 1995, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados.

REAL DECRETO 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

REAL DECRETO 258/1989, de 10 de marzo, por el que se establece la normativa general sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar.

LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

REAL DECRETO 777/2012, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 975/2009.

REAL DECRETO 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.

LEY 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

LEY 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.

REAL DECRETO 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas.

REAL DECRETO 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

REAL DECRETO 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

REAL DECRETO 812/2007, de 22 de junio, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos.

LEY 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental

REAL DECRETO 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la ley.

REAL DECRETO 40/2009, de 23 de enero, por el que se determinan los valores a aplicar para la financiación de los costes correspondientes a la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado, y al desmantelamiento y clausura de instalaciones.

LEY 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

REAL DECRETO 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan.

REAL DECRETO 228/2006, de 24 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1378/1999.

LEY 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el R. Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.

REAL DECRETO 1911/2000, de 24 de noviembre, por el que se regula la destrucción de los materiales especificados de riesgo en relación con las encefalopatías espongiiformes transmisibles.

REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

REAL DECRETO 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.



RESOLUCIÓN de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015.

LEY 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

REAL DECRETO 367/2010, de 26 de marzo, de modificación de diversos reglamentos del área de medio ambiente para su adaptación a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009

REAL DECRETO 1416/2001, de 14 de diciembre, sobre envases de productos fitosanitarios.

REAL DECRETO 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

REAL DECRETO 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

REAL DECRETO 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.

ORDEN de 18 de abril de 1991 por la que se establecen normas para reducir la contaminación producida por los residuos de las industrias del dióxido de titanio.

LEY 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

LEY 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

ORDEN MAM/3624/2006, de 17 de noviembre, por la que se modifican el Anejo 1 del Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, y la Orden de 12 junio de 2001, por la que se establecen las condiciones para la no aplicación a los envases de vidrio de los niveles de concentración de metales pesados establecidos en el artículo 13.

REAL DECRETO 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

RESOLUCIÓN de 8 de octubre de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 5 de octubre de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, 2001-2006.

LEY 40/2010, de 29 de diciembre, de almacenamiento geológico de dióxido de carbono.

LEY 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social.

## **1.5.- LEGISLACIÓN AUTONÓMICA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA**

### **1.5.1.- Criterios normativos**

La Generalitat Valenciana regula la planificación, cuyo objetivo es coordinar la actuación de las diferentes administraciones públicas en aras a una adecuada gestión de los residuos.

Las funciones de los Planes de Acción Territorial, de carácter sectorial son:

- Establecer los objetivos y criterios de carácter territorial para las actuaciones sectoriales, de acuerdo con las directrices y orientaciones del Plan de Ordenación Territorial
- Regular el planeamiento, ejecución y gestión de los sistemas generales supramunicipales o comarcales de infraestructuras, equipamientos, servicios y actividades de explotación de los recursos con los objetivos y criterios propuestos y de acuerdo con las determinaciones del Plan de Ordenación del Territorio.
- Definir prioridades territoriales de inversión pública de las políticas sectoriales, en orden a cubrir las necesidades y déficits.
- Determinar los proyectos y actuaciones concretas que han de llevarse a cabo para la consecución de los objetivos propuestos.

Se tramitarán por las Administraciones Públicas y serán aprobados por el Consell de la Generalitat, previa audiencia de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. Debe ser un instrumento capaz de integrar y armonizar una serie de aspectos relativos a la gestión de residuos mediante:

- Aplicación de la más reciente normativa tanto comunitaria como legislación básica.
- Regulación integrada de los residuos, con independencia de su origen, naturaleza o destino y de la rehabilitación de espacios degradados.
- Propuesta de un sistema de gestión de residuos.
- Diseño de un soporte técnico-administrativo.
- Establecimiento de un modelo de financiación.
- Armonización y coordinación de la gestión de los residuos.

- Eliminación segura de residuos no valorizables
- Apoyo al establecimiento de un régimen jurídico de los vertederos.

Los objetivos en este orden de jerarquías:

- Minimización: Conjunto de medidas destinadas a reducir la producción de residuos o la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes presentes en ellos.
- Valorización: Todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos. En todo caso estarán incluidos en este concepto los procedimientos enumerados en el ANEXO II B de la Decisión de la Comisión 96/350/CE
- Eliminación segura: todo procedimiento dirigido a darle un destino final a las fracciones residuales no valorizables, bien por vertido controlado, o bien por destrucción total o parcial. En todo caso estarán incluidos en este concepto los procedimientos enumerados en el ANEXO II A de la Decisión de la Comisión 96/350 CE de 24 de Mayo.

En el ámbito autonómico se prevén dos tipos de planes, el Plan Integral de Residuos y los planes Zonales, ambos de obligado cumplimiento para todas las administraciones públicas y particulares, mediante los cuales se distribuyen en el territorio de la Comunidad Autónoma el conjunto de instalaciones necesarias para garantizar el los principios de autosuficiencia y proximidad. Las determinaciones contenidas en el PIR y los planes zonales vinculan a los distintos instrumentos de ordenación urbanística y territorial.

Los planes zonales se constituyen como instrumentos de desarrollo y mejora del Plan Integral de Residuos. Son documentos detallados que adaptarán las previsiones de éste a cada Zona que delimiten, pudiendo modificar, aquellas previsiones del Plan Integral que no tengan carácter vinculante o normativo. Quedan reservadas todas aquellas zonas incorporadas en los diferentes Planes Zonales como aptas para la ubicación de instalaciones de gestión de residuos urbanos.

### **1.5.2.- Relación de legislación**

DECRETO 127/2006, de 15 de septiembre, del Consell, por el que se desarrolla la Ley 2/2006, de 5 de mayo, de la Generalitat, de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental.

DECRETO 135/2002, de 27 de agosto, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan de Descontaminación y Eliminación de PCB de la Comunidad Valenciana.

LEY 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana.

DECRETO 32/1999, de 2 de marzo, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba la modificación del Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana.

DECRETO 317/1997, de 24 de diciembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana.

ORDEN de 14 de julio de 1997, de la Conselleria de Medio Ambiente de la Comunidad Valenciana, por la que se desarrolla el Decreto 240/1994, de 22 de noviembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Reglamento Regulador de la Gestión de Residuos

RESOLUCIÓN de 14 de julio de 1997, de la Conselleria de Medio Ambiente, por la que se aprueba inicialmente el proyecto de Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana

DECRETO 202/1997, de 1 de julio, del Gobierno Valenciano, por el que se regula la tramitación y aprobación del Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana.

DECRETO 218/1996, de 26 de noviembre, del Gobierno Valenciano, por el que se designa, el organismo competente para efectuar las funciones a que se refiere el Reglamento (CEE) 259/93, de 1 de febrero, relativo a la vigilancia y al control de los traslados de residuos en el interior, a la entrada y a la salida de la Comunidad Europea.

### **PLANES ZONALES DE RESIDUOS**

ORDEN de 15 de abril de 2005, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona XVII.

ORDEN de 29 de diciembre de 2004, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de Residuos de la Zona XVIII.

ORDEN de 29 de diciembre de 2004, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona XVI

ORDEN de 29 de diciembre de 2004, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona XIV.



ORDEN de 2 de diciembre de 2004, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de las Zonas II, IV y V.

ORDEN de 2 de diciembre de 2004, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona XIII.

ORDEN de 29 de octubre de 2004, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de las Zonas VI, VII y IX.

ORDEN de 29 de octubre de 2004, del conseller de Territorio y Vivienda, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de las Zonas X, XI, y XII.

ORDEN de 18 de enero de 2002, del conseller de Medio Ambiente, por la que se aprueba el Plan Zonal de Residuos de las Zonas III y VIII.

ORDEN de 12 de noviembre de 2001, del conseller de Medio Ambiente, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona XV.

ORDEN de 4 de octubre de 2001, del conseller de Medio Ambiente, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona I

<b>Nomenclatura anterior de los planes zonales</b>	<b>Nomenclatura anterior de áreas de gestión</b>	<b>Nueva nomenclatura de planes zonales</b>	<b>Nueva nomenclatura de áreas de gestión</b>
Plan Zonal de la Zona I	-	Plan Zonal 1	C1
Plan Zonal de las Zonas II, IV, V	-	Plan Zonal 2	C2
Plan Zonal de las Zonas III, VIII	AG 2	Plan Zonal 3	C3/V1
Plan Zonal de las Zonas III, VIII	AG 1	Plan Zonal 3	V2
Plan Zonal de las Zonas VI, VII, IX	-	Plan Zonal 4	V3
Plan Zonal de las Zonas X, XI, XII	AG1	Plan Zonal 5	V4
Plan Zonal de las Zonas X, XI, XII	AG 2	Plan Zonal 5	V5
Plan Zonal de las Zonas XV	-	Plan Zonal 6	A1
Plan Zonal de las Zonas XIV	-	Plan Zonal 7	A2
Plan Zonal de las Zonas XIII	-	Plan Zonal 8	A3
Plan Zonal de las Zonas XVI	-	Plan Zonal 9	A4
Plan Zonal de las Zonas XVIII	-	Plan Zonal 10	A5
Plan Zonal de las Zonas XVII	-	Plan Zonal 11	A6

Fuente: <http://www.cma.gva.es/>

Tabla 1.1.- Nomenclatura de los planes zonales del PIR 201

### **Plan integral de residuos de la comunidad valenciana de 2013 (PIRCV)**

Actualmente está en vigor el PIRCV aprobado por el Decreto 81/2013 de 21 de junio. Contempla las medidas y prescripciones técnicas de obligado cumplimiento necesarias para implementar las previstas en el documento de ordenación no vinculante y establece las disposiciones generales necesarias para la ordenación material y territorial de las actividades de gestión de residuos.

Comprende las disposiciones normativas y vinculantes de los siguientes residuos clasificados principalmente en atención a su origen:

- Residuos domésticos e industriales
- Residuos específicos:
  - Residuos de construcción y demolición (RCD)
  - Vehículos al final de su vida útil (VFU) y Neumáticos fuera de uso (NFU)
  - Residuos de aparatos que contengan policlorobifenilos (PCB)
  - Residuos de pilas y acumuladores
  - Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)
  - Residuos de envases y aceites industriales usados
  - Suelos contaminados y residuos sanitarios
  - Residuos agropecuarios y lodos de depuración

Quedan excluidos del ámbito de aplicación del PIRCV los siguientes:

- Las emisiones a la atmósfera
- Los suelos no contaminados excavados y otros materiales naturales excavados
- Los residuos radiactivos
- Los explosivos, cartuchería y artificios
- Las materias fecales y las aguas residuales
- Los subproductos y cadáveres de animales
- Los residuos resultantes de la prospección, extracción, valorización, eliminación y almacenamiento de recursos minerales

**Los objetivos básicos del Plan Integral de Residuos se pueden sintetizar en:**

- Planificación global de las actuaciones de la Generalitat y las Entidades Locales en materia de gestión de residuos, con el objeto de lograr una actuación coordinadora y eficaz entre ambas administraciones.
- Determinación de forma global y coherente, de los criterios sobre la implantación, financiación, gestión y explotación de las infraestructuras de tratamiento y eliminación.
- Establecimiento y justificación de las prioridades de actuaciones y señalamiento de las líneas fundamentales a seguir en materia de tratamiento y eliminación de residuos.
- Definición de las prioridades territoriales de inversión en cuanto a la política de gestión de residuos, en orden a cubrir las necesidades y déficits existentes.

**El PIRCV marca unos principios básicos para la gestión de los residuos:**

- Principio de autosuficiencia: creación de una red integrada de instalaciones que permita a la Comunidad Valenciana ser autosuficiente en materia de tratamiento de aquellos residuos para los que existe la masa crítica que lo justifique.
- Principio de proximidad: eliminar en las instalaciones adecuadas más próximas, aquellas corrientes de residuos para las que no exista una masa crítica suficiente que justifique la creación de instalaciones evitando movimientos innecesarios de residuos.
- Principio de que, quien contamina paga, con el fin de lograr la internalización de los costos ambientales por parte de los agentes económicos como responsables primeros de la producción de residuos y de su introducción en el medio ambiente.
- Principio de subsidiariedad, por el cual la Generalidad Valenciana intervendrá sólo en la medida en que los objetivos de la acción pretendida no pueda ser alcanzada por los agentes involucrados, y pueda lograrse mejor, debido a los efectos de la acción contemplada, a nivel autonómico.
- Principio de la responsabilidad compartida, en que todos los agentes, Administración Autonómica, Corporaciones Locales, empresas públicas y privadas y ciudadanos, trabajen de una forma concertada y en colaboración.
- Principio de prevención: limitación en la generación de residuos en el propio origen, animando a las empresas productoras y a los consumidores a preferir productos y servicios que generen menos residuos.



- Principio de cautela o de precaución: adopción de medidas de protección que reduzcan la posibilidad de riesgos o amenazas al medio ambiente.
- Principio de acceso a la información medioambiental: efectividad del derecho de los ciudadanos a obtener información medioambiental en las condiciones establecidas en la normativa vigente.
- Fomento del desarrollo sostenible: adopción de medidas en favor del uso prudente de los recursos naturales y la protección del ecosistema, incluyendo el mantenimiento y conservación de la biodiversidad, la protección hidrológica,..., junto con la prosperidad económica y un desarrollo social equilibrado
- Lucha contra el cambio climático: contribución al objetivo a largo plazo de estabilizar las concentraciones en la atmósfera de gases de efecto invernadero en un nivel peligroso.
- Protección de la salud ambiental y humana: contribución a un alto nivel de calidad de vida y bienestar social para los ciudadanos, en el que los niveles de contaminación no tengan efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente.
- Eficiencia en los recursos: asegurar modelos de producción y consumo más sostenibles, disociando de este modo el uso de los recursos, la generación de residuos y la tasa de crecimiento económico, para garantizar que el consumo de los recursos tanto renovables como no renovables no exceda la capacidad de absorción del medio ambiente.
- Minimización de la afección al paisaje: desarrollo de las actividades de gestión de los residuos de forma que sean compatibles con los valores paisajísticos y se contribuya a su preservación.
- Principio de responsabilidad ampliada del productor: garantizar que cualquier persona física o jurídica que desarrolle, fabrique, procese, trate, venda o importe productos de forma profesional vea ampliada su responsabilidad del productor.

Con independencia de la tecnología empleada y del proceso de tratamiento, todas las instalaciones de valorización de RSU deberán tener rendimientos globales de recuperación de materiales, excluyendo la materia orgánica, no inferiores al 9% sobre entradas de los residuos. La generación de rechazos no valorizables se limitará como máximo al 44%. Se hace necesario proceder a la implantación de plantas de valorización energética de ámbito suprazonal, estratégicamente ubicadas.

Existirán unas tasas de ámbito municipal por la recogida y transporte de residuos y otras tasas de ámbito supramunicipal por la valorización, eliminación, transferencia y, gestión de los ecoparques.



Las tasas por tratamiento de ámbito supramunicipal, serán establecidas por los consorcios o administraciones competentes. Para la determinación de las tasas, se tendrá en cuenta:

- El coste de la recogida, transporte, valorización y eliminación de los residuos urbanos debe ser visible y repercutirse directamente sobre los entes locales con el objeto de hacer cumplir el principio de responsabilidad del productor.
- El coste de valorización y eliminación de los residuos habrá de tener en cuenta las amortizaciones de las inversiones, los gastos de mantenimiento y de explotación.
- Las instalaciones existentes en el momento de la publicación del PIRCV deberán adaptarse a las prescripciones de éste, en el plazo máximo de dos años a partir de la fecha de su entrada en vigor.

#### **1.6.- LEGISLACIÓN SOBRE VERTEDEROS**

La Directiva 1999/31/CE, del Consejo, de 26 de abril, relativa al vertido de residuos, establece:

- Un régimen concreto para la eliminación de los residuos mediante su depósito en vertederos
- Configura las líneas básicas de su regulación la clasificación de los vertederos en tres categorías: vertederos de residuos peligrosos, residuos no peligrosos y residuos inertes
- La definición de los tipos de residuos aceptables en cada una de dichas categorías.
- El establecimiento de una serie de requisitos técnicos exigibles a las instalaciones
- La obligación de gestionar los vertederos después de su clausura
- Una nueva estructura e imputación de los costes de las actividades de vertido de residuos.
- Se acotan también los requisitos mínimos y el contenido de las solicitudes de autorización, las comprobaciones previas a realizar por las autoridades competentes.

La existencia de vertederos incontrolados y las obligaciones impuestas por la normativa comunitaria justifican la adopción del Real Decreto 1481, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, e incorpora al derecho interno la Directiva 1999/31/CE. El presente real decreto establece el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos. Asimismo delimita los criterios técnicos mínimos para su diseño, construcción, explotación, clausura y mantenimiento. También aborda la adaptación de los vertederos actuales a las exigencias del Real Decreto y los impactos ambientales a considerar en la nueva situación.

### 1.6.1.-Autorizaciones administrativas

Contendrán al menos la siguiente documentación:

- a) Las identidades del solicitante, de la entidad titular y de la entidad explotadora.
- b) Un proyecto que incluirá: memoria, planos, prescripciones técnicas particulares y presupuesto.

La memoria, que servirá para justificar la idoneidad del vertedero, incluirá:

- Una descripción de los tipos de residuos para los que se propone el vertedero, incluyendo su codificación con arreglo al Catálogo Europeo de Residuos (CER)
- La cantidad total prevista de residuos a verter y capacidad propuesta del vertedero.
- La descripción del emplazamiento, y sus características hidrogeológicas y geológicas.
- La descripción de las características constructivas del vertedero y cálculos justificativos de infraestructuras proyectadas.
- Los métodos que se proponen para la prevención y reducción de la contaminación.
- El plan que se propone para la explotación, vigilancia y control además del mantenimiento posterior a la clausura
- Un análisis económico en el que se demuestre el cumplimiento del artículo 11 del Real Decreto 1481/2001, de 27 de Diciembre.
- El cumplimiento de la normativa relacionada con la evaluación de impacto ambiental.

c) Período de vigencia de la autorización

d) La localización de las instalaciones y la clasificación del vertedero, con arreglo a si es de residuos peligrosos, no peligrosos o inertes.

e) Una relación de los tipos (descripción, códigos CER) y la cantidad total de residuos cuyo vertido se autoriza en la instalación.

f) Las prescripciones relativas al diseño y construcción del vertedero, operaciones de vertido y a los procedimientos de vigilancia y control, incluidos los planes de emergencia, así como las prescripciones para las operaciones de clausura y mantenimiento pos clausura.

g) La obligación de la entidad explotadora de cumplir con el procedimiento de admisión de residuos y de informar, al menos una vez al año, a la autoridad competente acerca de: los tipos y cantidades de residuos eliminados, con indicación del origen, la fecha de entrega, el productor, o el recolector en el caso de los residuos urbanos y, si se trata de residuos peligrosos, su ubicación exacta en el vertedero.



### **Condiciones de la autorización**

Previamente a la concesión de una autorización a un nuevo vertedero, ampliación o modificación de uno existente, las autoridades competentes deberán comprobar, al menos, que:

1. La gestión del vertedero estará en manos de una persona con cualificación técnica adecuada, y que están previstos la formación profesional y técnica del personal del vertedero.
2. Durante la explotación del vertedero está prevista la adopción de las medidas necesarias para evitar accidentes y limitar las consecuencias de los mismos.
3. El solicitante depositará antes de que den comienzo las operaciones de eliminación, las fianzas o garantías exigidas conforme a la ley, y en el caso de vertederos de residuos peligrosos constituirá, el seguro de responsabilidad civil.
4. Observar las obligaciones exigidas por la normativa sobre la evaluación de impacto ambiental y antes de que den comienzo las operaciones de vertido, las autoridades competentes inspeccionarán el emplazamiento y las instalaciones del vertedero para comprobar que éste cumple las condiciones pertinentes de la autorización.

Además de los requisitos expresados en los Artículos 8º, 9º y 10º del R.D. 1481/2001, la autorización de instalaciones de vertido debe cumplir las siguientes condiciones:

- Tener carácter motivado y condicionado.
- Incluir las características de compatibilidad ambiental de la construcción y operación
- Existir estudios específicos justificativos de la autorización.

### **Costes del vertido de residuos**

El precio que la entidad explotadora cobre por la eliminación de los residuos en el vertedero cubrirá, como mínimo, los costes que ocasionen su establecimiento y explotación, los gastos derivados de las garantías, así como los costes estimados de la clausura y el mantenimiento posterior de la instalación y el emplazamiento durante el plazo que fije la autorización, que en ningún caso será inferior a treinta años.

### 1.6.2 Admisión de residuos

Los vertederos de residuos peligrosos e inertes sólo admitirán residuos que cumplan los requisitos fijados en el anexo II para dichas categoría de residuos e inertes cuyo tratamiento sea inviable.

Los vertederos de residuos no peligrosos podrán admitir:

- a) Residuos urbanos o no peligrosos
- c) Residuos peligrosos no reactivos, estables o provenientes de un proceso de estabilización, cuyo comportamiento de lixiviación sea equivalente al de los residuos no peligrosos

**No se admitirán en ningún vertedero:** Residuos líquidos, explosivos, corrosivos, oxidantes, inflamables, infecciosos y neumáticos usados enteros y troceados, con exclusión de los neumáticos utilizados como elementos de protección en el vertedero.

#### Procedimiento previo de admisión de residuos

- 1) El poseedor de los residuos deberá poder demostrar, por medio de la documentación adecuada, que, de acuerdo con las condiciones establecidas en la autorización, los residuos pueden ser admitidos en dicho vertedero y cumplen los criterios de admisión.
- 2) La entidad explotadora del vertedero aplicará un procedimiento de recepción que, como mínimo, incluirá:
  - Control de la documentación de los residuos, incluidos los preceptivos documentos de control y seguimiento en el caso de residuos peligrosos.
  - Inspección visual de los residuos a la entrada y en el punto de vertido y comprobación de su conformidad con la descripción facilitada en la documentación presentada por el poseedor.
- 3) La entidad explotadora del vertedero facilitará siempre un acuse de recibo por escrito de cada entrega admitida en el mismo.
- 4) Si no fueran admitidos los residuos, la entidad explotadora notificará sin dicha circunstancia a la autoridad competente.

### **1.6.3.- Procedimientos**

**Procedimientos del programa de control y vigilancia durante la fase de explotación:** la entidad explotadora del vertedero notificará sin demora a la autoridad competente, así como al Ayuntamiento correspondiente, todo efecto negativo significativo sobre el medio ambiente puesto de manifiesto en los procedimientos de control y vigilancia y acatará la decisión de dicha autoridad. Informará de los resultados de la vigilancia y control, a fin de demostrar que se cumplen las condiciones de la autorización y de mejorar el conocimiento del comportamiento de los residuos en los vertederos.

**Procedimientos de clausura y mantenimiento pos clausura:** se inician cuando se cumplan las condiciones correspondientes enunciadas en la autorización, con autorización de la autoridad competente a petición de la entidad explotadora, o por decisión motivada de la autoridad.

Tras la clausura definitiva del vertedero, la entidad explotadora será responsable de su mantenimiento, vigilancia, análisis, control de los lixiviados del vertedero y gases generados tomando las medidas adecuadas para su acumulación y emisión, así como del régimen de aguas subterráneas en las inmediaciones del mismo. En todos los vertederos que reciban residuos biodegradables se recogerán los gases de vertedero, se tratarán y se aprovecharán y se llevará a cabo de forma tal que se reduzca al mínimo el daño o deterioro del medio ambiente y el riesgo para la salud humana.

## **1.7.- LEGISLACIÓN SOBRE INCINERACIÓN**

### **1.7.1.-Introducción y ámbito de aplicación**

Está recogida en la normativa comunitaria 2000/76/CE transpuesta a la normativa española en el RD 815/2013 de 18 de Octubre. El objetivo de la presente Directiva es impedir y limitar en la medida de lo posible los efectos negativos sobre el medio ambiente, especialmente la contaminación causada por las emisiones en la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, así como los riesgos para la salud humana derivados de la incineración de residuos.

En su capítulo IV, establece las disposiciones especiales para las instalaciones de incineración. Establece el ámbito de aplicación, el régimen y contenido de autorización al que están sometidas, cómo debe realizarse la entrega y recepción de residuos, las condiciones de diseño, equipamiento, construcción y explotación de la instalación, la autorización necesaria para cambiar

las condiciones de explotación, los valores límite de emisión a la atmósfera y a las aguas, los residuos de la incineración, la periodicidad de las mediciones a la atmósfera y al agua, las condiciones anormales de funcionamiento, la verificación del valor de eficiencia energética y, finalmente, la presentación de informes e información al público en este tipo de instalaciones.

Este capítulo se aplicará a las instalaciones de incineración de residuos que incineren residuos sólidos, con excepción de las siguientes:

a) Instalaciones en las que sólo se incineren:

- Residuos vegetales de origen agrícola y forestal, los procedentes de la industria de elaboración de alimentos, si se recupera el calor generado, residuos de corcho y madera.
- Residuos vegetales fibrosos procedentes de la producción de pulpa virgen y de la producción de papel a partir de la pulpa, si se incineran en el lugar de producción y se recupera el calor generado.
- Cadáveres enteros de animales y partes de ellos
- Residuos resultantes de la exploración y explotación de petróleo y gas en plataformas marinas incinerados a bordo y residuos radioactivos.

b) Instalaciones experimentales utilizadas para la investigación, el desarrollo y la realización de pruebas para mejorar el proceso de incineración y que incineren menos de 50 toneladas de residuos al año.

### **1.7.2.-Autorizaciones administrativas**

Toda solicitud de autorización, incluirá una descripción de las medidas que estén previstas para garantizar que se cumplen los siguientes requisitos:

- La instalación se diseñe, equipe, mantenga y explote de modo que se cumplan los requisitos legales, teniendo en cuenta los tipos de residuos a incinerar.
- En la medida en que sea viable, se recupere el calor generado durante el proceso de incineración mediante la generación de calor, vapor o electricidad.

- Que se reduzcan al mínimo la cantidad y la nocividad de los residuos producidos, y, cuando proceda, se reciclen, además de la identificación de los residuos que serán objeto de incineración en la instalación.
- La eliminación de los residuos de la incineración que no puedan evitarse o reciclarse se lleve a cabo de conformidad con lo establecido en el RD 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

### **Contenido de las autorizaciones**

- a) Enumeración de los tipos de residuos que pueden tratarse utilizando los códigos de identificación de la LER y determinar la cantidad de los residuos que se autoriza para incinerar.
- b) La capacidad total de la instalación, así como la capacidad de cada una de las líneas.
- c) Los valores límite para las emisiones a la atmósfera y las aguas residuales.
- d) Los requisitos de pH, temperatura, y caudal de los vertidos de aguas residuales.
- e) Los procedimientos de muestreo y medición y las frecuencias que deberán ser utilizados para cumplir las obligaciones que se establecen sobre mediciones periódicas de cada contaminante de la atmósfera y las aguas, mencionando, las normas o métodos específicos aplicables al efecto.
- f) El período máximo permitido de las interrupciones, desajustes o fallos técnicamente inevitables de los dispositivos de depuración o de medición, durante los cuales las emisiones a la atmósfera y los vertidos de aguas residuales puedan superar los valores límite de emisión previstos.
- g) Una lista de las cantidades de los tipos de residuos peligrosos que pueden tratarse, los flujos mínimos y máximos de masa, sus valores caloríficos mínimos y máximos y su contenido máximo de policlorobifenilos, pentaclorofenol, cloro, flúor, azufre, metales pesados y otras sustancias contaminantes.

### **1.7.3. Condiciones de funcionamiento y valores límites de emisión**

#### **Entrega y recepción de los residuos**

- 1) El gestor de la instalación de incineración tomará las precauciones necesarias en relación con la entrega y recepción de residuos para impedir o limitar en la medida de lo posible, la

contaminación de la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, así como otros efectos negativos en el medio ambiente, olores, ruidos, y los riesgos directos para la salud.

2) Determinará la masa de cada tipo de residuos, si es posible mediante la utilización de los códigos de identificación de la Lista Europea de Residuos (LER).

3) Cuando se trate de residuos peligrosos, antes de aceptarlos, el gestor deberá disponer de una información sobre ellos para comprobar, que se cumplen los requisitos de la autorización señalados anteriormente.

4) Comprobar los documentos estipulados en la Ley 22/2011, de 28 de julio, relativo a los traslados de residuos, así como en la normativa sobre transporte de mercancías peligrosas.

5) Muestreo representativo, a menos que ello resulte inadecuado en virtud de la propia naturaleza de los residuos, como el caso de residuos clínicos infecciosos. Las muestras deberán conservarse, al menos, durante un mes después de la incineración del residuo correspondiente.

#### **Condiciones de diseño, equipamiento, construcción y explotación**

1. Las instalaciones se explotarán de modo que se obtenga un grado de incineración tal que el contenido de carbono orgánico total (COT) de las escorias y las cenizas de hogar sea inferior al 3 % o su pérdida por combustión sea inferior al 5 % del peso seco de la materia.

2. Tras la última inyección de aire de combustión, al menos durante dos segundos la temperatura de los gases derivados de la incineración se eleve de manera controlada y homogénea hasta 850 °C, medidos cerca de la pared interna de la cámara de combustión o en otro punto representativo de ésta. Si se incineran residuos peligrosos que contengan más del 1 % de sustancias organohalogenadas, expresadas en cloro, la temperatura deberá elevarse hasta 1.100 °C, al menos durante dos segundos.

3. Todas las cámaras de combustión estarán equipadas al menos con un quemador auxiliar que se ponga en marcha automáticamente cuando la temperatura de los gases de combustión, tras la última inyección de aire de combustión, descienda por debajo de 850 °C o 1.100 °C, según los casos contemplados en el anterior apartado.



4. Durante el arranque y parada, o cuando la temperatura de los gases de combustión descienda por debajo de 850 °C o 1.100 °C, el quemador auxiliar no podrá alimentarse con combustibles que puedan causar emisiones mayores que las producidas por la quema de gasóleo.
5. Los gases residuales producidos serán liberados de modo controlado, por medio de una chimenea, cuya altura se calculará de modo que queden protegidos la salud humana y el medio.
6. El calor generado por la instalación se recuperará en la medida en que sea viable.
7. Los residuos clínicos infecciosos deberán introducirse directamente en el horno, sin mezclarlos antes con otros tipos de residuos y sin manipularlos directamente.
8. La gestión de la instalación de incineración de residuos será responsable una persona física con aptitud técnica para gestionar la instalación.

#### Valores límite de emisión a la atmósfera

Todos los valores límite de emisión de los apartados siguientes se calcularán a una temperatura de 273,15 K, una presión de 101,3 kPa y previa corrección del contenido en vapor de agua de los gases residuales. Están normalizados al 11% de oxígeno en el gas residual excepto en el caso de la incineración de aceites minerales usados según lo, normalizados al 3% de oxígeno.

- Valores medios diarios (mg/Nm<sup>3</sup>)

Partículas totales	10
Sustancias orgánicas en estado gaseoso y de vapor expresadas en carbono orgánico total	10
Cloruro de hidrógeno (HCl)	10
Fluoruro de hidrógeno (HF)	1
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	50
Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), expresados como dióxido de nitrógeno, para instalaciones de incineración existentes de capacidad nominal superior a 6 toneladas por hora o para instalaciones de incineración nuevas	200
Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), expresados como dióxido de nitrógeno, para instalaciones de incineración ya existentes de capacidad nominal no superior a 6 toneladas por hora	400

Fuente: RD 815/2013 de 18 de Octubre. Anejo 2, Parte 5.

- Valores medios semihorarios (mg/Nm<sup>3</sup>)

	(100%) A	(97%) B
Partículas totales	30	10
Sustancias orgánicas en estado gaseoso y de vapor expresadas en carbono orgánico total	20	10
Cloruro de hidrógeno (HCl)	60	10
Fluoruro de hidrogeno (HF)	4	2
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	200	50
Monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), expresados como dióxido de nitrógeno, para instalaciones de incineración existentes de capacidad nominal superior a 6 toneladas por hora o para instalaciones de incineración nuevas	400	200

- Todos los valores medios medidos a lo largo de un período de muestreo de un mínimo de 30 minutos y un máximo de 8 horas (mg/Nm<sup>3</sup>)

Cadmio y sus compuestos, expresados en cadmio (Cd).	Total 0,05
Talio y sus compuestos, expresados en talio (Tl).	
Mercurio y sus compuestos, expresados en mercurio (Hg).	0,05
Antimonio y sus compuestos, expresados en antimonio (Sb).	Total 0,5
Arsénico y sus compuestos, expresados en arsénico (As).	
Plomo y sus compuestos, expresados en plomo (Pb).	
Cromo y sus compuestos, expresados en cromo (Cr).	
Cobalto y sus compuestos, expresados en cobalto (Co).	
Cobre y sus compuestos, expresados en cobre (Cu).	
Manganeso y sus compuestos, expresados en manganeso (Mn).	
Níquel y sus compuestos, expresados en níquel (Ni).	
Vanadio y sus compuestos, expresados en vanadio (V).	

El valor límite de emisión se refiere a la concentración total de dioxinas y furanos será de 0,1 ng/Nm<sup>3</sup>, con todos los valores medios medidos en un periodo de muestreo mínimo de 6h y máximo de 8h. No podrán superarse en los gases residuales los siguientes valores límite de emisión de las concentraciones de monóxido de carbono (CO):

- 50 mg/Nm<sup>3</sup> calculado como valor medio diario.
- 100 mg/Nm<sup>3</sup> calculado como valor medio semihorario.
- 150 mg/Nm<sup>3</sup> calculado como valor medio cada 10 minutos.

### **Valores límite de emisión de aguas residuales**

En el punto de control de aguas residuales se efectuarán al menos las siguientes mediciones:

- a) Mediciones en continuo del pH, la temperatura y el caudal.
- b) Mediciones diarias, mediante muestras puntuales, de sólidos en suspensión o mediciones de una muestra representativa y proporcional al caudal vertido a lo largo de un periodo de 24 horas.
- c) Mediciones, con la periodicidad que determinen los órganos competentes en materia de control de vertidos al medio acuático y como mínimo una vez al mes, de una muestra representativa y proporcional al caudal vertido durante veinticuatro horas de Hg, Cd, Tl, As, Pb, Cr, Cu, Ni y Zn.
- d) Mediciones, como mínimo una vez cada tres meses, de dioxinas y furanos. Durante los primeros doce meses de funcionamiento se efectuará una medición como mínimo cada 2 meses.

### **Residuos de la incineración**

1. Se reducirá al mínimo la cantidad y la nocividad de los residuos procedentes de la explotación y se reciclarán o valorizarán, si procede, directamente en la instalación o fuera de ella.
2. El transporte y almacenamiento temporal de los residuos secos en forma de polvo, se realizarán de forma que se evite su dispersión en el medio ambiente.
3. Antes de determinar las vías de eliminación, reciclado u otras formas de valorización se efectuarán pruebas adecuadas para establecer las características físicas y químicas y el potencial contaminante de los diferentes residuos de incineración. Los análisis que se realicen con motivo de estas pruebas se referirán, entre otros aspectos, a la composición, a la fracción soluble total y a la fracción soluble de los metales pesados de estos residuos.

### **Mediciones de la emisión a la atmósfera y cumplimiento de los valores límite**

Mediciones en continuo de: NO<sub>x</sub>, CO, partículas totales, COT, HCl, HF y SO<sub>2</sub>.

- Mediciones en continuo de los siguientes parámetros del proceso: temperatura cerca de la pared interna de la cámara de combustión o en otro punto representativo de ésta autorizado por

el órgano competente; concentración de oxígeno, presión, temperatura y contenido de vapor de agua de los gases residuales.

- Se efectuarán mediciones en continuo de las emisiones a la atmósfera de metales pesados, dioxinas y furanos con arreglo a las normas CEN, al menos una medición trimestral. Si bien, durante los doce primeros meses de funcionamiento, se realizará una medición al menos cada dos meses. En ausencia de las normas CEN, se aplicarán las normas ISO. Los sistemas de medición automática estarán sujetos a control por medio de mediciones paralelas con los métodos de referencia al menos una vez al año.
- Al menos una vez se verificarán adecuadamente el tiempo de permanencia, la temperatura mínima y el contenido de oxígeno de los gases residuales cuando se ponga en funcionamiento la instalación y en las condiciones más desfavorables de funcionamiento que se puedan prever.
- Podrá omitirse la medición continua de HF si se utilizan procesos de tratamiento del HCl que permitan garantizar que no se superan los valores límite de emisión.
- No será necesaria la medición continua del contenido de vapor de agua cuando los gases residuales del muestreo se sequen antes de que se analicen las emisiones.
- El órgano competente podrá permitir en la autorización la realización de mediciones periódicas, en vez de mediciones continuas, de HCl, HF y SO<sub>2</sub>.
- Los valores de los intervalos de confianza del 95% de cualquier medición, determinados en los valores límite de emisión diarios, no superarán los siguientes porcentajes
  - Monóxido de carbono: 10%
  - Dióxido de azufre: 20%
  - Dióxido de nitrógeno: 20%
  - Partículas totales: 30%
  - Carbono orgánico total: 30%
  - Cloruro de hidrógeno: 40%
  - Fluoruro de hidrógeno: 40%

**Condiciones anormales de funcionamiento:** En caso de avería, el gestor de la instalación reducirá o detendrá el funcionamiento de la instalación lo antes posible hasta que éste pueda reanudarse.

La instalación no podrá seguir incinerando durante un período superior a cuatro horas ininterrumpidas si se superan los valores límite de emisión y la duración acumulada del

funcionamiento en dichas circunstancias durante un año natural será de menos de 60 horas, teniendo en cuenta que se aplica a los hornos conectados a un único dispositivo de depuración de los gases residuales.

**Verificación del valor de eficiencia energética de las instalaciones de incineración de residuos:**

Los gestores de la instalación remitirán un informe, acreditado externamente, indicando el valor de la eficiencia energética para cada línea de incineración así como el cálculo realizado y la información adicional necesaria para su verificación. Para efectuar dicho cálculo se seguirán las indicaciones establecidas en la guía publicada por la Comisión Europea. El órgano competente verificará dicho cálculo y, si lo estima necesario, podrá solicitar información adicional o llevar a cabo los controles que estime pertinentes para su comprobación. En el plazo de tres meses desde la recepción de la información se notificará el valor de eficiencia energética y su clasificación como operación R1 o D10. Dicha clasificación tendrá validez durante los cinco años siguientes en tanto que no se produzcan cambios que puedan afectar a la eficiencia energética. En la memoria que anualmente se remita al órgano competente de conformidad con el artículo 41 de la Ley 22/2011, de 28 de julio, se incluirá la información necesaria para que el órgano competente pueda comprobar que se sigue manteniendo el valor de eficiencia energética establecido.

**Presentación de informes e información al público:** las solicitudes de nuevas autorizaciones para instalaciones de incineración de residuos estarán a disposición del público en uno o varios lugares durante un plazo de treinta días, para que presenten las observaciones que estimen oportunas.

Las comunidades autónomas elaborarán una lista de las instalaciones de capacidad nominal inferior a 2 ton/hora ubicadas en su territorio, que se pondrá a disposición del público y a efectos de su remisión a la Comisión Europea, suministrarán a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Medio Ambiente la información relativa a la aplicación de este capítulo en sus respectivos ámbitos territoriales. Para las instalaciones de capacidad nominal igual o superior a 2 ton/h, el gestor deberá elaborar y remitir al órgano competente un informe anual sobre el funcionamiento y el control de la instalación, en el que se dará cuenta, al menos, de la marcha del proceso de incineración y de las emisiones a la atmósfera o a las aguas, comparadas con los niveles de emisión.

## 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICO-BIOLÓGICAS DE LOS RSU

### 2.1.-PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS RSU

**Peso específico:** se define como el peso de un material por unidad de volumen (por ejemplo kg/m<sup>3</sup>). Como el peso específico de los RSU frecuentemente se refiere a residuos sueltos sin compactar o compactados, la base utilizada para los valores presentados siempre debe ser citada.

LOCALIZACION DE LOS RESIDUOS	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
En cubos o contenedores	150 – 250
En camión compactador	500 – 650
En fosa de almacenamiento tras su descarga del camión	350 – 600
En vertedero con tratamiento de media densidad	650 – 800
En vertedero con tratamiento de lata densidad	900 – 1.000

Tabla 2.1.- Peso específico de los residuos

**Contenido de humedad:** normalmente se expresa de dos formas. En el método de medición peso-húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo, es el más usado en el campo de la gestión de residuos sólidos. En el método peso seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material.

**Tamaño de partícula y distribución del tamaño:** el tamaño y distribución del tamaño de los componentes de los materiales en los residuos sólidos son una consideración importante dentro de las instalaciones de recuperación de materiales, especialmente con medios mecánicos, como cribas, tromel y separadores magnéticos.

**Capacidad de campo:** es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. Es de importancia crítica para determinar la formación de la lixiviación en los vertederos dado que el exceso de agua sobre la capacidad de campo se emitirá en forma de lixiviación. Varía con el grado de presión aplicada y el estado de descomposición del residuo, en los residuos no seleccionados y no compactados de orígenes domésticos y comerciales está en la gama del 50 al 60 %.

TIPO DE RESIDUO	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )		CONTENIDO DE HUMEDAD, % EN PESO	
	RANGO	TÍPICO	RANGO	TÍPICO
<b>DOMESTICOS (NO COMPACTADOS)</b>				
Residuos de comida mezclados	131-481	291	50-80	70
papel	42-131	89	4-10	6
Cartón	42-80	50	4-8	5
Plásticos	42-131	65	1-4	2
Textiles	42-101	65	6-15	10
Gomas	101-202	131	1-4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de Jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1-4	2
Latas de hojalata	50-160	89	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	2
Otros metales	131-1.151	320	2-4	3
Suciedad cenizas, etc.	320-1.000	481	6-12	8
Cenizas	650-831	745	6-12	6
Basuras	89-181	131	5-20	15
<b>RESIDUOS DE JARDIN DOMESTICOS</b>				
Hojas sueltas y secas	30-148	59	20-40	30
Hierba verde suelta y humedad	208-297	237	40-80	60
Hierba verde humedad y compactada	593-831	593	50-90	80
Residuos de jardín triturados	267-356	297	20-70	50
Residuos de jardín compostados	267-386	326	40-60	50
<b>URBANOS</b>				
En camión compactados	178-451	297	15-40	20
<b>EN VERTEDERO</b>				
Medianamente compactados	362-498	451	15-40	25
Bien compactados	590-742	600	15-40	25
<b>COMERCIALES</b>				
Residuos de comida húmedos	475-950	540	50-80	70
Aparatos	148-202	181	0-2	1
Cajas de madera	110-160	110	10-30	20
Podas de arboles	101-181	148	20-80	5
Basura combustible	50-181	119	10-30	15
Basura no combustible	181-362	300	5-15	10
Basura mezclada	139-181	160	10-25	15
<b>CONSTRUCCION Y DEMOLICION</b>				
Demolición mezclados (no combustibles)	1.000-1.600	1.421	2-10	4
Demolición mezclados (combustibles)	300-400	360	4-15	8
Construcción mezclados (combustibles)	181-360	261	4-15	8
Hormigón roto	1.198-1.800	1.540	0-5	-

Tabla 2.2.- Peso y humedad de los residuos

**Permeabilidad de los residuos compactados:** la conductividad hidrológica de los residuos compactados es una propiedad física que gobierna el movimiento de líquidos y gases dentro de un vertedero. El coeficiente de permeabilidad normalmente se escribe como:  $K = \kappa \cdot (\gamma / \mu)$

El término  $\kappa$  se conoce como permeabilidad intrínseca y depende solamente de las propiedades del material sólido, incluyendo la distribución de los tamaños de poro, la complejidad, la superficie específica y la porosidad.

## 2.2.- PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS RSU

La información sobre la composición química de los componentes que conforman los RSU es importante para evaluar las opciones de procesamiento y recuperación. Si los residuos sólidos van a utilizarse como combustible, las propiedades más importantes que es preciso conocer son:

**Análisis físico:** para los componentes combustibles de los RSU incluye los siguientes ensayos:

1. Humedad: pérdida de humedad cuando se calienta a 105 °C durante una hora.
2. Material volátil combustible: pérdida de peso adicional con la ignición a 950° en un crisol cubierto.
3. Carbono fijo: rechazo combustible dejado después de retirar la materia volátil.
4. Ceniza: peso del rechazo después de la incineración en un crisol descubierto a 950°.

TIPO DE RESIDUO	PORCENTAJE EN PESO				CONTENIDO ENERGÉTICO (KCAL/KG)	
	HUMEDAD	MATERIA VOLATIL	CARBONO FIJO	NO COMBUSTIBLE	RESIDUOS RECOGIDOS	RESIDUO SECO
<b>Restos de comida</b>						
Grasas	2,0	95,3	2,5	0,2	8964	9148
Mezcla de comidas	70,0	21,4	3,6	5,0	998	3989
Residuos de frutas	78,7	16,6	4,0	0,7	948	4452
Residuos de carne	38,8	56,4	1,8	3,1	4235	6919
<b>Papel y derivados</b>						
Cartón	5,2	77,5	12,3	5,0	3912	4127
Revistas	4,1	66,4	7,0	22,5	2919	3043
Periódicos	6,0	81,1	11,5	1,4	4431	4713
Papel mezclado	10,2	75,9	8,4	5,4	3777	4206
Cartones encerados	3,4	90,9	4,5	1,2	6292	6513
<b>Plásticos</b>						
Plásticos mezclados	0,2	95,8	2,0	2,0	7834	7995
Poliétileno	0,2	98,5	<0,1	1,2	10382	10402
Poliestireno	0,2	98,7	0,7	0,5	9122	9140
Poliuretano	0,2	87,1	8,3	4,4	6224	6237
PVC	0,2	86,9	10,8	2,1	5419	5430
<b>Textiles, goma, cuero</b>						
Textiles	10,0	66,0	17,5	6,5	4422	4913
Goma	1,2	83,9	4,9	9,9	6050	6123
Cuero	10,0	68,5	12,5	9,0	4167	4467
<b>Maderas</b>						
Residuos de jardín	60,0	30,0	9,5	0,5	1445	3613
Madera verde	50,0	42,3	7,3	0,4	1167	2333
Maderas duras	12,0	75,1	12,4	0,5	4084	4641
Madera mezclada	20,0	68,1	11,3	0,6	3689	4620

Tabla 2.3.- Características energéticas de los residuos



**Punto de fusión de la ceniza:** se define como la temperatura en la que la ceniza resultante de la incineración de residuos se transforma en sólido por la fusión y la aglomeración. Las temperaturas de fusión para la formación de escorias de residuos oscilan entre 1100Ç y 1200Ç.

**Análisis elemental de los componentes :** normalmente implica la determinación del porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza. Los resultados del análisis elemental se utilizan para caracterizar la composición química de la materia orgánica en los RSU. También se usan para definir la mezcla correcta de materiales residuales necesaria para conseguir relaciones C/N aptas para la conversión biológica.

**Contenido energético:** se puede determinar utilizando una caldera a escala real como calorímetro, utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio o por cálculo si se conoce la composición elemental. Para ello se realiza la extracción de una muestra representativa, se calcula su humedad mediante secado en estufa y tras separar los productos no combustibles, cuya masa se pesa para su posterior uso en los cálculos, se procede a la combustión completa de la parte combustible en la bomba calorimétrica, obteniendo su PCI, para luego ser corregido teniendo en cuenta la proporción de materiales no combustibles y la humedad



*Figura 2.1.- Bomba calorimétrica*

**Nutrientes esenciales y otros elementos:** cuando la fracción orgánica de los RSU se va a utilizar como alimentación para la elaboración de productos biológicos de conversión, tales como compost, metano y etanol, la información sobre los nutrientes esenciales y los elementos del material residual es importante respecto a la disponibilidad de nutrientes de microbios y para valorar los usos finales que puedan tener los materiales restantes después de la conversión biológica.

### 2.3.- PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS RSU

La característica biológica más importante de los RSU es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inertes. La fracción orgánica de la mayoría de los RSU se puede clasificar en:

1. Constituyentes solubles en agua tales como azúcares, féculas, aminoácidos...
2. Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos
3. Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con 6 carbonos.
4. Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
5. Lignina, un material polímero que contiene anillos aromáticos con grupos metoxi (-OCH<sub>3</sub>) cuya fórmula exacta aún no se conoce.
6. Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
7. Proteínas que están formadas por cadenas de aminoácidos.

**Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos:** se utiliza frecuentemente el contenido en sólidos volátiles (SV), determinado a 550°C, El uso de la SV para la descripción de la fracción orgánica es erróneo, porque algunos de los constituyentes orgánicos como el papel de periódico son altamente volátiles pero bajos en biodegradabilidad, por lo que son menos biodegradables que los residuos orgánicos de los RSU. Alternativamente, se puede usar el contenido de lignina de un residuo para estimar la fracción biodegradable, mediante la relación siguiente:

$$BF= 0,83-0.028LC$$

Donde:

BF= fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles (SV) y

LC= contenido en lignina de los SV expresado como porcentaje en peso seco.

**Reproducción de moscas:** en verano y durante todas las estaciones en climas cálidos, la reproducción de moscas es una cuestión importante para el almacenamiento in situ de residuos. La historia vital de una mosca común desde el huevo hasta su estado adulto se produce a lo largo de 9-11 días. Si los gusanos se desarrollan, son difíciles de quitar cuando se vacían los contenedores. Los que permanecen pueden desarrollarse hasta convertirse en moscas. Los

gusanos también salen de los bidones destapados y se desarrollan hasta convertirse en moscas en el terreno circundante.

COMPONENTE	SÓLIDOS VOLÁTILES (SV) % DE SÓLIDOS TOTALES (ST)	CONTENIDO EN LIGNINA (LC) % DE SV	FRACCIÓN BIODEGRADABLE (BF)
Residuos de comida	7-15	0.4	0.82
PAPEL			
Papel de periódico	94.0	21.9	0.22
Papel de oficina	96.4	0.4	0.82
Cartón	94.0	12.9	0.47
Residuos de jardín	50-90	4.1	0.72

Tabla 2.4.- Porcentaje en SV, LC y BF de los residuos

**Producción de olores:** los olores pueden desarrollarse cuando los residuos sólidos se almacenan durante largos periodos de tiempo in situ entre recogidas, en estaciones de transferencias y vertederos por la descomposición anaerobia de los componentes orgánicos que se encuentran en los RSU. El color negro de los residuos sólidos que han experimentado descomposición anaerobia en un vertedero se debe principalmente a la formación de sulfuros metálicos. Los procesos de fermentación anaerobia, descomposición y putrefacción de los residuos sólidos son causa de gran cantidad de compuestos que producen olores desagradables. Las sustancias liberadas que se caracterizan por su mal olor son:

COMPONENTE	FORMULA DEL COMPUESTO	TIPO DE OLOR ORIENTATIVO
Aminas	$\text{CH}_3\text{NH}_2$ , $(\text{CH}_3)_3\text{N}$	Pescado
Mercaptanos	$\text{CH}_3\text{SH}$ , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Mofeta
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$ , $\text{CH}_3\text{SCH}_3$	Col podrida
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$ $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	Carne podrida, putrefacción
Amoniaco	$\text{NH}_3$	Amoniaco
Acido sulfhídrico	$\text{SH}_2$	Huevos podridos
escatol	$\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$	Heces, fecal

Tabla 2.5.- Componentes principales de olor en los residuos

### **3.- DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL PROCESO DE GESTIÓN DE RSU**

#### **3.1.- PRODUCCIÓN DE RSU EN EL ÁMBITO URBANO**

El término residuo sólido urbano (RSU) comprende tanto la masa heterogénea de los desechos de la comunidad urbana, como la acumulación más homogénea de los residuos de actividades agrícolas, animales, industriales y minerales que son desechados como inútiles y superfluos.

La generación de residuos abarca las actividades en las que los materiales son identificados sin ningún valor adicional, y o bien son tirados o bien son recogidos juntos para la evacuación. La industrialización, el desarrollo económico y la implantación del estado de bienestar, con las pautas de consumo que conlleva, implica el aumento de los RSU por habitante.

La adecuada gestión de residuos debe tener como punto de partida la prevención de su generación y de su peligrosidad, junto con el fomento de su reutilización, reciclaje y valorización. La reducción en origen está comprendida en el concepto de Producción Limpia y Consumo Sustentable, el cual requiere de una significativa transformación de los modelos de producción y consumo para lograr la utilización sostenible de los recursos y prevenir la contaminación generada por los procesos de producción de los bienes, por su uso, consumo o la prestación de servicios.

La cantidad de residuos a disponer podrá disminuir aún más si los que no pueden dejar de generarse son sometidos a procesos de reciclado tantas veces como sea posible, antes de ser descartados definitivamente. El proceso de reciclado, al utilizar como insumo los materiales recuperados de los RSU dando lugar a su valorización, permiten, al mismo tiempo, reemplazar y ahorrar los recursos naturales que sustituyen.

La composición y generación de los RSU depende de los siguientes factores:

##### **1. Modo y nivel de vida de la población**

El consumo de productos alimenticios ya preparados hace que aumente el contenido de envases y embalajes, pero se produce una disminución de restos vegetales, carnes y grasas, por emplearse como alimento animal o fertilizante orgánico. El mayor uso del gas y la electricidad hace disminuir el contenido de escorias y cenizas.

## 2. Actividad de la población y características,

- En áreas rurales se observa un predominio de productos fermentables.
- En núcleos urbanos aumenta sensiblemente la cantidad de residuos de envases y embalajes, aunque sigue predominando la materia orgánica.
- En zonas de servicios se observa un claro predominio de los envases y embalajes.
- En zonas industriales predominan los residuos industriales, envases y embalajes.
- Las cantidades de residuos de jardín son considerablemente mayores en muchos de los barrios más ricos que en otras partes de la ciudad.
- En general, donde hay un servicio ilimitado de recolección, se recolectan más residuos.

## 3. Climatología de la zona

Están relacionadas con el clima las variaciones sustanciales en las cantidades de residuos de jardín generadas en distintas partes del país. Por las variaciones en las cantidades de algunos tipos de residuos sólidos generados bajo climas diferentes, se deberían hacer estudios especiales cuando la información conseguida tenga un impacto importante sobre el sistema. El contenido en humedad es mayor en las estaciones con alta pluviosidad. En zonas urbanas se está observando una cierta estandarización de los productos de consumo, tendiendo a reducir la influencia estacional y las variaciones por localización geográfica.

## 4. Estacionalidad

Los residuos recogidos en verano presentan un mayor contenido de restos de frutas y verduras, mientras que las escorias y cenizas procedentes de las calefacciones domésticas aumentan en invierno. Las cantidades de residuos de comida relacionadas con la época de cultivo de vegetales y fruta.

La información obtenida mediante estudios de campo en una comunidad se puede usar en otra, pero antes es necesario verificar algunas coincidencias entre ambos lugares, como:

- ✓ Hábitos de consumo.
- ✓ Grado de consolidación urbana, densidad poblacional, pavimentación de las vías públicas.
- ✓ Actividades no domésticas en el hogar (crianza de animales o huertos familiares).
- ✓ Condiciones de clima, especialmente el nivel de precipitación pluvial, que puede influir en el contenido de humedad de los RSM.

## **5. Efecto de las actitudes públicas y la legislación**

Se producen reducciones importantes en las cantidades de residuos generadas cuando la gente está dispuesta a cambiar sus hábitos y estilo de vida. Un programa continuo de educación es esencial para conseguir un cambio en dichas actitudes públicas. Quizás el factor más importante que influye en la generación de residuos es la existencia de normativas locales, estatales que tratan el uso específico de materiales.

Las cantidades de residuos son de una importancia crítica para determinar el cumplimiento de los programas federales y estatales de desviación de residuos, seleccionar el equipo específico y para el diseño de los itinerarios de recolección de residuos, instalaciones de recuperación de materiales (IRM), instalaciones de evacuación e implantar programas efectivos de gestión de RSU.

### **3.1.1.- MEDIDAS Y MÉTODOS PARA VALORAR LAS CANTIDADES DE RSU**

#### **Medidas para cuantificar las cantidades de RSU**

En cualquier estudio acerca de la gestión de residuos sólidos, se debe poner un cuidado extremo para decidir exactamente lo que es preciso conocer y para la asignación de fondos destinados a la recolección de datos.

Las medidas de volumen y peso se utilizan ambas para medir las cantidades de residuos sólidos. Los volúmenes medidos deben estar relacionados con el grado de compactación de los residuos o con el peso específico de los residuos bajo sus condiciones de almacenamiento.

El peso es la única base exacta para los registros de datos, ya que los tonelajes se pueden medir directamente, independientemente del grado de compactación. Los datos de peso también son necesarios para el transporte, porque la cantidad que se puede transportar está condicionada por los límites de peso en carretera.

#### **Métodos utilizados para estimar las cantidades de RSU**

Las cantidades de residuos normalmente se estiman basándose en datos recolectado durante el transcurso de un estudio de caracterización de residuos, utilizando datos previos sobre la generación de residuos. Los métodos comúnmente utilizados son:

### **Análisis del número de cargas**

El número de cargas individuales y las correspondientes características de los residuos se anotan durante un periodo de tiempo específico. Si hay básculas disponibles, se registran también los datos de peso. Las tasas de generación por unidad se determinan utilizando datos de campo y, cuando sea necesario, datos publicados. La dificultad para usar tales datos es saber si son realmente representativos de lo que tiene que ser medido.

### **Análisis peso-volumen**

La utilización de datos detallados de peso-volumen obtenidos mediante el pesaje y la medición de cada carga, proporcionará una mejor información sobre el peso específico de las diversas formas de residuos sólidos en un lugar dado.

### **Análisis del balance de masas**

Primero, se define el límite del sistema alrededor de la unidad que se va a estudiar. Segundo se identifican todas las actividades que se cruzan o se producen dentro del borde y que afectan a la generación de residuos. Tercero, se identifica la tasa de generación de residuos asociada a cada una de estas actividades. Por último, utilizando las relaciones matemáticas apropiadas, se determina la cantidad de residuos generados, recolectados y almacenados.

En la práctica el aspecto más difícil de la aplicación de un balance de masas para determinar las cantidades de residuos es definir adecuadamente todas las entradas y salidas que cruzan el borde del sistema.

### **Análisis estadístico**

En el desarrollo de sistemas de gestión de residuos sólidos, a menudo, es necesario determinar las características estadísticas de las tasas observadas de generación de residuos. Para muchas actividades industriales grandes sería poco práctico proporcionar una capacidad de contenedores capaz de manejar la cantidad más grande concebible de residuos sólidos que se pueden generar en un día. La capacidad de los contenedores proporcionados debería basarse en el análisis estadístico de las tasas de generación, y en las características del sistema de recolección.

### **3.1.2.- TASAS DE GENERACIÓN Y RECOLECCIÓN DE RSU**

#### **Tasas de generación**

Las estimaciones de las cantidades de RSU normalmente se basan en la cantidad de residuos generados por persona/día. Para los residuos industriales y agrícolas, las cantidades de residuos generadas están basadas en alguna unidad de producción. Las tasas de generación de residuos domésticos usualmente llegan a su punto más alto nivel durante la temporada de vacaciones navideñas y durante los días de limpieza de la casa en primavera.

#### **Tasas de recolección**

Las cantidades generadas y recolectadas de residuos sólidos varían diariamente, semanalmente, mensualmente y estacionalmente. La variación más grande en las tasas se produce en las viviendas individuales y los establecimientos de pequeño comercio.

### **3.1.3.- ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN Y DESVIACIÓN DE RSU**

La finalidad es identificar las fuentes, características y cantidades de residuos generados. Estos estudios son difíciles de llevar a cabo por el gran número de fuentes y el número limitado de muestras de residuos que se pueden analizar. Los pasos típicos implicados son los siguientes:

1. La recogida y uso de información existente puede ahorrar dinero y tiempo, y servir como referencia: estudios y documentos anteriores de gestión y planificación.
2. Identificar fuentes de generación, características y categorías de los residuos (domésticas, comerciales, construcción y demolición, etc.) La necesidad de un análisis detallado de los componentes individuales de residuos dentro de cada categoría de residuos dependerá de los usos que se van a hacer de los datos recolectados.
3. Desarrollar metodologías de muestreo: identificación y caracterización de muestras incluyendo fuente, tamaño de muestra, número de muestras necesarias para la relevancia estadística. Duración del período de muestreo y época del año.
4. Realizar estudios de campo y sondeos de mercado para residuos especiales.
6. Valorar los factores que afectan a las tasas de generación de residuos.



### **Valorización de las desviaciones actuales de residuos**

La meta de un estudio de desviación de residuos es identificar los tipos y cantidades de materiales residuales que son separados actualmente para el reciclaje o de otra forma desviados de la evacuación en vertederos. Los pasos normalmente involucrados en un estudio de desviación de residuos son los siguientes:

1. Recoger la información existente. Como fuentes de información existentes se pueden incluir: estudios previos de generación de residuos sólidos, instalaciones de recuperación de materiales...
2. Desarrollar metodología para estimar las cantidades de residuos actualmente desviados.
3. Identificar otras actividades existentes.
4. Realizar estudios de campo
5. Valorar los factores que afectan a las tasas de generación de residuos.

### **Análisis del total de residuos generados y desviados**

Será necesario en primer lugar desarrollar datos sobre la cantidad total de los residuos generados. El total de los residuos generados estará compuesto por la cantidad de residuos actualmente colocados en un vertedero y la cantidad de residuos actualmente desviados.

### **3.2.- TRANSPORTE A PLANTA TRANSFERENCIA O A PLANTA DE TRATAMIENTO**

El elemento funcional transferencia y transporte se refiere a los medios, instalaciones y accesorios utilizados para efectuar la transferencia de residuos desde un lugar a otro, normalmente más distante. Los contenidos de vehículos de recogida relativamente pequeños se transfieren a vehículos más grandes, que se utilizan para transportar los residuos a distancias más largas, hasta las IRM, o hasta las zonas de evacuación. Las operaciones de transferencia y transporte también se utilizan conjuntamente con IRM para transportar materiales recuperados al mercado, o a instalaciones residuos-energía, y para transportar materiales residuales a vertederos.

### 3.3.- PROCESAMIENTO Y SEPARACIÓN DE MATERIALES

En un estado no seleccionado, los RSU son biológicamente inestables, pueden llegar a ser olorosos, y no son útiles. La función de las IRM es separar los RSU no seleccionados para la obtención de materiales útiles. Componentes de residuos como papel, plásticos, vidrio y metales pueden recuperarse a partir de los RSU, para su transformación en nuevos productos. Las porciones orgánicas de los residuos sólidos pueden recuperarse como materia prima para el compostaje u otros procesos biológicos, o como combustible derivado de residuos (CDR) con el fin de usarlo para la recuperación de energía.

#### 3.3.1-Reducción de tamaño

**Molino de martillos:** es un dispositivo de impacto en el que se acoplan flexiblemente un número de martillos a un eje o disco central que gira a altas velocidades (700 a 1200 rev/min). Por la fuerza centrífuga, los martillos se extienden radialmente desde el eje central. Cuando los residuos sólidos entran en el molino de martillos, son golpeados con suficiente fuerza como para ser aplastados o rasgados, con tanta velocidad que no se adhieren a los martillos. La acción cortante sigue hasta que el material tiene el tamaño deseado y cae fuera por el fondo del molino.

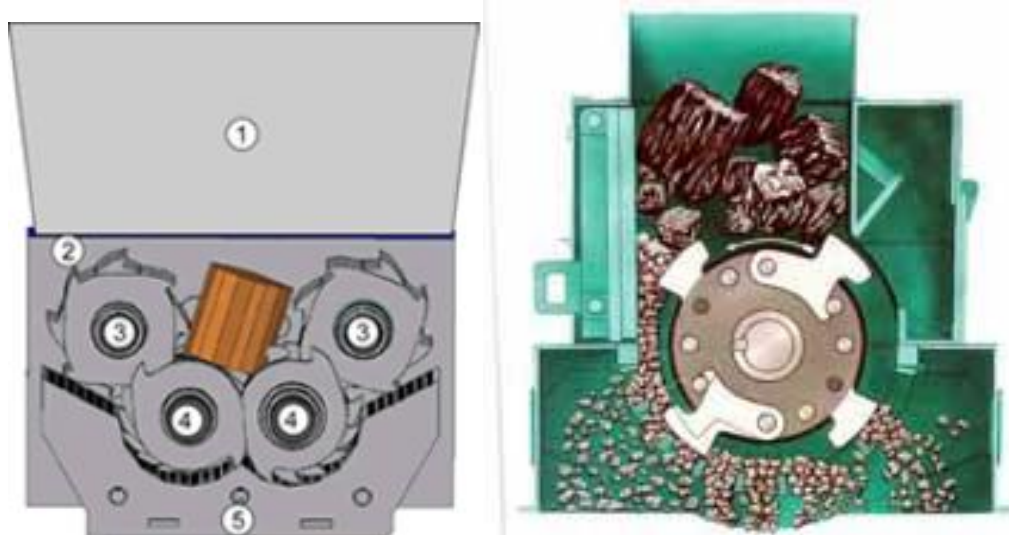


Figura 3.1.- Molino de martillos

### **Trituradoras cortantes**

Operan con una acción de tijera, en la que dos cuchillas girando en sentidos opuestos cortan los residuos. Comparadas con los molinos de martillos, las trituradoras cortantes son dispositivos de baja velocidad (60-120 rev/min). La mayoría son movidas por motores hidráulicos que pueden ser puestos marcha atrás en caso de bloqueo.

### **Cubas trituradoras**

Son esencialmente molinos de martillos móviles que se pueden trasladar al lugar de producción de los residuos y utilizarlas para procesar los materiales in situ. Se han utilizado para una amplia gama de materiales, incluyendo recortes de árboles, tocones de árboles y residuos de construcción. Como se muestra en la figura, una cuba trituradora normal está formada por una boca de alimentación de gran diámetro en la que se introducen los residuos. La acción giratoria de esta boca de alimentación, o “cuba”, lleva el material hasta un molino de martillos horizontal.



*Figura 3.2.- Cuba trituradora*

### **Características del rendimiento**

Después de la trituración, la distribución de las partículas cambia significativamente porque los molinos de martillo no producen materiales de tamaño uniforme. Materiales frágiles como el vidrio, la arena y la roca dan lugar a proporciones más altas de partículas finas que los materiales dúctiles como los metales. Esta característica de los molinos de martillo puede utilizarse con ventaja si se utilizan cribas después del molino para separar vidrio, arena y rocas de los otros materiales. Las trituradoras cortantes tienden a producir un producto más uniforme. Son particularmente efectivas con RSU y algunas clases de residuos industriales y neumáticos.

### Criterios de diseño:

- Deben conocerse las características mecánicas del material que se va a triturar, tales como: resistencia al corte y ductilidad.
- Requisitos de tamaño para los materiales triturados según componentes: los molinos de martillo tienden a producir un producto no uniforme; en cambio, las trituradoras cortantes producen un material más uniformemente triturado.
- Método de alimentación de la trituradora: la capacidad de los transportadores de alimentación debe corresponderse con la trituradora.
- Características operacionales: requisitos de energía consumida (CV\*h/t), requisitos de mantenimiento, simplicidad de operación, rendimiento, fiabilidad comprobada, carga en bruto de residuos (ton/h)...
- Localización: disponibilidad de suelo y altura, acceso y consideraciones ambientales.
- Requisitos de almacenamiento y transporte: los materiales triturados tienen que ser almacenados y transportados hasta las operaciones posteriores.
- Cuestiones de seguridad: el peligro más común es la trituración accidental de los recipientes que contengan compuestos volátiles, como gasolina o disolventes, emitiendo así vapores explosivos. Las concentraciones de polvo también pueden formar atmósferas explosivas. El molino de martillos tiene el más alto riesgo de explosión, causado por las chispas procedentes del impacto a alta velocidad del metal contra el metal.

### 3.3.2 Separación por tamaño

El cribado implica la separación de una mezcla de materiales en dos o más porciones mediante el uso de superficies de criba, que se utilizan como tamaños de selección. Puede llevarse a cabo en vía seca o vía húmeda, siendo la primera la más común en sistemas de procesamiento de RSU.

#### **Cribas vibratorias:**

se utilizan para separar materiales relativamente secos como vidrio y materiales, astillas de madera que se usan como agregado en el compost de fangos y para la separación de trozos de fragmentos de hormigón a partir de residuos de construcción.

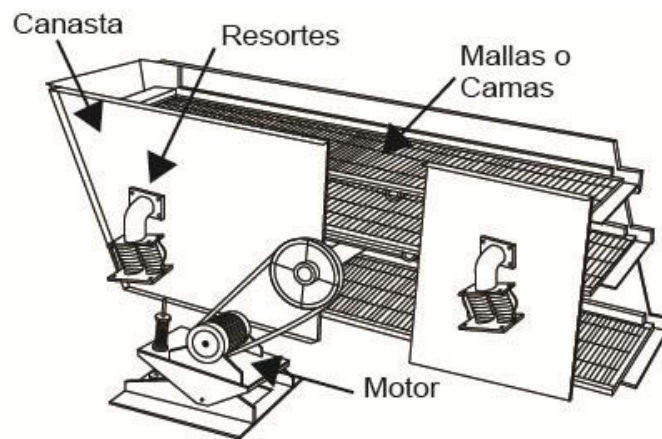


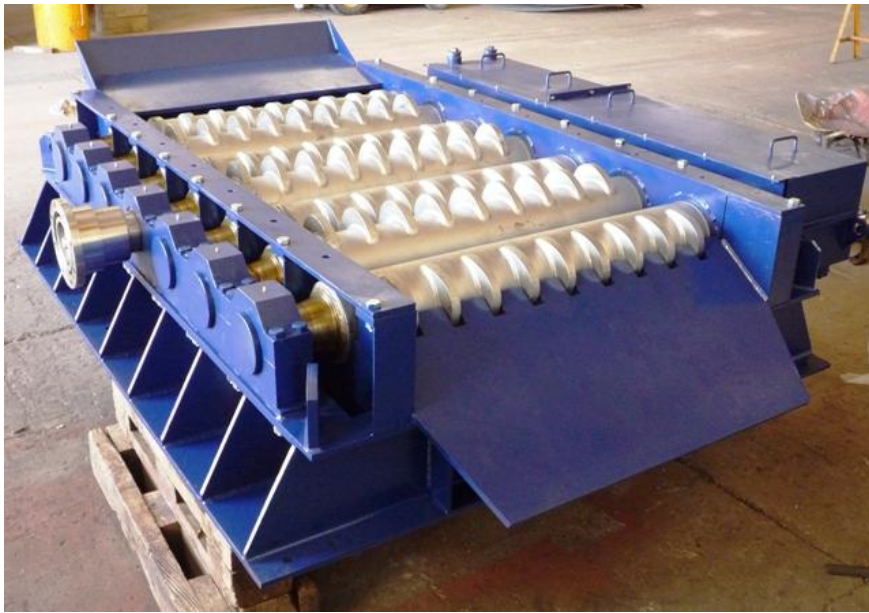
Figura 3.3.- Criba vibratoria

#### **Cribas trómel**

Consisten en una criba de gran diámetro (normalmente 3m), formada por un cilindro girando sobre un eje horizontal. Se utilizan para proteger trituradoras en instalaciones para la producción de CDR, y para separar cartón y papel en instalaciones para la recuperación de materiales.

#### **Cribas de discos**

Está formada por discos giratorios, entrelazados, paralelos. Los materiales que hay que separar caen entre los espacios, los materiales grandes se llevan por encima de los discos como en una cinta transportadora. Las cribas de discos tienen varias ventajas sobre las cribas vibratorias, incluyendo la auto limpieza y la capacidad de ajuste, variando el espaciamiento de los discos sobre los ejes de conducción.



Fuente: [www.atmos-spain.com](http://www.atmos-spain.com)

*Figura 3.4.- Criba de discos*

### **3.3.3-Separación por densidad**

#### **Clasificadores neumáticos**

En los tipos más sencillos, los residuos sólidos triturados se dejan caer por un conducto vertical. El aire que sube desde el fondo del conducto se utiliza para transportar los materiales más ligeros hasta lo alto del conducto. Como el flujo de aire ascendente es insuficiente para transportar los materiales más pesados, estos caen al fondo. Se consigue controlar la distribución porcentual entre las fracciones ligeras y pesadas mediante la variación de la tasa de carga de residuos, la tasa del flujo de aire y la sección del conducto.

Un sistema de clasificación neumática está formado por una o más transportadoras, un clasificador y un ciclón separador. Se necesitan las transportadoras para llevar residuos procesados a la tolva de alimentación y al clasificador neumático. Después del clasificador neumático, se utiliza un ciclón separador para separar la fracción ligera del aire portador. Antes de la descarga del aire a la atmósfera, se pasa a través de instalaciones para la recogida de polvo como puede ser el filtro de mangas.

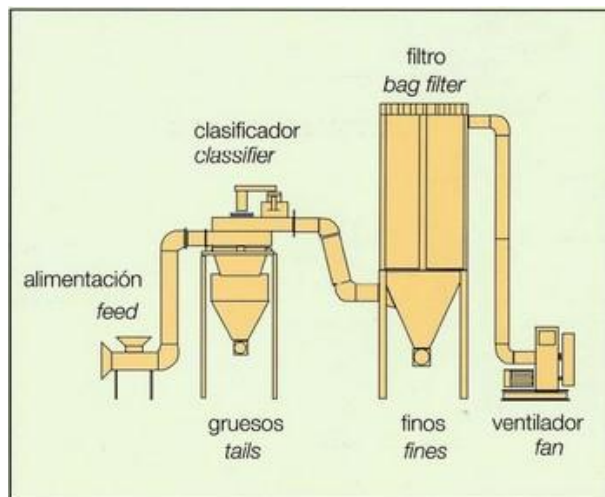
Fuente: [www.fivemasa.com](http://www.fivemasa.com)

Figura 3.5.- Clasificador neumático

### Stoner

En las IRM se utiliza para separar la gravilla pesada del material orgánico en las fracciones de menor tamaño en los trómeles. Consiste en una parrilla porosa vibratoria a través de la cual sopla el aire. La parrilla vibra en línea recta en sentido ascendente. El material se alimenta por encima de la parrilla en un punto entre el centro y el tercio más alto de la parrilla. El aire a baja presión fluidiza y estratifica el material que se va a separar según las diferencias en la velocidad límite de las partículas. El material ligero, que sube por el aire fluidizante, circula hacia abajo, mientras que el material más pesado se queda sobre la superficie de la parrilla, y asciende por la acción vibratoria.

### Flotación

Se emplea un fluido para separar dos componentes con densidades diferentes mediante la inmersión en agua en un depósito apropiado. Los trozos de vidrio, rocas, ladrillos, huesos y materiales plásticos densos que se hunden en el fondo son separados con cintas rascadoras para un procesamiento adicional. Los orgánicos ligeros y otros materiales que flotan se recogen de la superficie.

El proceso de separación del aluminio para el que existe una mayor experiencia quizás sea la separación de medios densos, principalmente en la industria de recuperación de automóviles. Una alimentación triturada que contenga un alto porcentaje de aluminio después de haber separado los materiales férricos y el vidrio, se introduce en una corriente líquida que tiene una alta densidad específica. La gravedad específica se mantiene en un nivel que permite que flote el aluminio, mientras los otros materiales permanecen sumergidos. La desventaja de este proceso consiste en que la planta de tamaño óptimo requiere una alimentación de aproximadamente 2000 a 3000 t/d.r

### 3.3.4.- Separación magnética y por campo eléctrico:

#### Separación magnética

En un sistema de cinta multietapa diseñado para funcionar al final de una transportadora se emplean tres imanes. El primer imán se usa para atraer el material. El de transferencia se utiliza para llevar el material atraído alrededor de una curva y agitarlo. Cuando el material atraído llega a una zona donde no hay magnetismo, cae libremente, y cualquier metal no férreo atrapado contra la cinta por el metal férreo cae también. Entonces, el metal férreo es atraído de nuevo a la cinta por el último imán y se descarga a otra transportadora o a contenedores de almacenamiento.

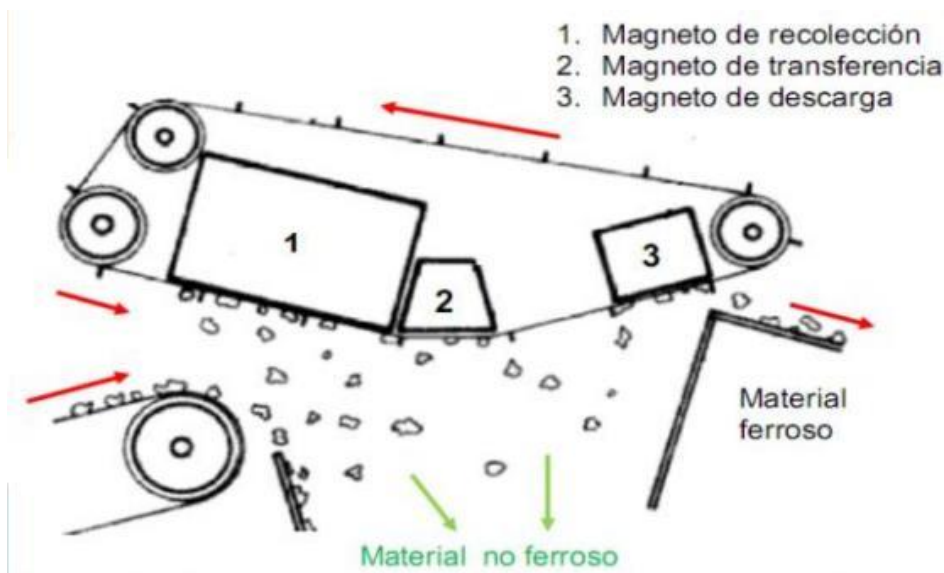


Figura 3.6.- Separador magnético Fuente: [www.bvsde.paho.org](http://www.bvsde.paho.org)

#### Separación electrostática

Los campos electrostáticos de alto voltaje pueden utilizarse para separar materiales no conductores, como son el vidrio, el plástico y el papel, de materiales conductores, como son los metales. También es posible separar los materiales no conductores, unos de otros, en base a las diferencias en su permisividad eléctrica, o en su facilidad para retener la carga eléctrica.

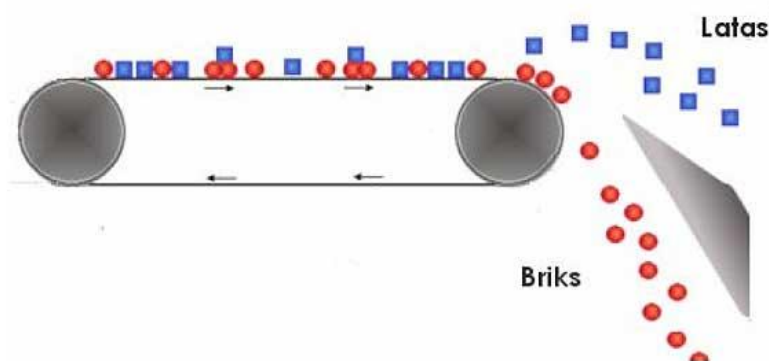


### Separación por corrientes de Foucault

Su funcionamiento se basa en la ley de Faraday sobre inducción electromagnética. Si se coloca un conductor como el aluminio en un campo magnético variable, se generará el flujo de una corriente e inducirá un campo magnético que estará opuesto en polaridad al campo aplicado, produciendo así una fuerza magnética que expulsará al conductor fuera del campo magnético. Se han desarrollado diversos aparatos utilizando esta última técnica: el separador rampa, en el que se dejan caer los residuos sólidos por una rampa inclinada de 45º, donde se han incrustado imanes permanentes, y el separador vertical con corriente Foucault, en el que los residuos sólidos caen libremente entre dos placas con filas alternantes de imanes permanentes.

Generalmente, los aparatos de separación por campo magnético tienen una alta eficacia ( $\geq 95\%$ ), y la pureza y recuperación en dispositivos de corriente Foucault ha llegado hasta el 98%.

Se diseña el equipamiento de separación por campo magnético y eléctrico en base a la carga en masa del flujo del material (t/h). El consumo de energía también es un tema importante. El uso de imanes permanentes en los aparatos magnéticos y de corriente Foucault es importante para la reducción de sus costes de explotación, aunque se incrementan los costes de inversión comparándolo con dispositivos que emplean electroimanes.



Fuente: [www.actividades-mcp.es](http://www.actividades-mcp.es)

Figura 3.7.- Separador por corrientes de Foucault

### 3.3.5.- Compactación

#### Compactadoras estacionarias

Los tipos de equipamiento de compactación utilizados en las operaciones con residuos sólidos pueden clasificarse como estacionarios o móviles. Cuando se llevan residuos y se cargan en una compactadora manual o mecánica, la compactadora es estacionaria. En contraste, el equipamiento con ruedas y con orugas utilizado para colocar y compactar residuos sólidos en un vertedero sanitario controlado se clasifica como móvil.

Las compactadoras estacionarias se pueden describir según su aplicación como:

- ✓ De trabajo ligero, como aquellas utilizadas para los RSU ligeros domésticos y comerciales
- ✓ De comercio o industria ligera
- ✓ De industria pesada
- ✓ De estación de transferencia



Fuente: [www.logismarket.com.mx](http://www.logismarket.com.mx)

*Figura 3.8.- Compactadora estacionaria*

#### Empacadoras

Son una alternativa al equipamiento de compactación. Operando con una presión alta, normalmente de 700 a 1400 KN/m<sup>2</sup>, producen balas compactadas de residuos sólidos o materiales recuperados relativamente pequeñas. El peso de las balas varía desde 500 a 800 kg para los fardos pequeños y grandes de cartón ondulado. El uso primordial del empacamiento se centra en la preparación de los materiales recuperados para su transporte hasta los compradores de material reciclados.



Fuente: [www.techgene.com.tw](http://www.techgene.com.tw)

Figura 3.9.- Empacadora

**Equipamiento de peletización:** la formación de pelets finos y gruesos es una tecnología que puede utilizarse en la producción de combustible densificado derivado de residuos (CDRd) para ser quemado en sistemas de incineración, gasificación o pirolisis. Los costes extras del proceso se pueden justificar cuando hay que transportar el CDRr a largas distancias, almacenarlo por largos periodos, o quemarlo en calderas diseñadas para carbón o madera.

El papel residual o CDR triturado es extraído a través de moldes de extrusión con una rueda extrusora giratoria excéntrica. Un sistema completo de peletización requiere una trituradora, una transportadora y un sistema para controlar la humedad. Los pelets se aglomeran por el calor causado por la fricción mientras se extruyen. Se puede almacenar el CDRr durante meses sin que se descomponga si se mantiene seco. Los pelets gruesos son aproximadamente de 7.5 cm por 2.5 cm<sup>2</sup>. Los pelets finos son cilíndricos, 1,25 a 2 cm de diámetro por 1.25 a 2.5 cm de largo.

**Criterios de diseño y selección de equipos de compactación:** con fines de diseño, los equipos de compactación se clasifican para el rendimiento en término de t/h. En el diseño de transportadoras y de equipos para la manipulación de materiales se debe prestar atención a la densidad bruta de los materiales entrantes y salientes. Aunque algunos materiales compactados, tales como el plástico o el aluminio, pueden tolerar la humedad, la mayoría de los materiales densificados deberían almacenarse en una zona cubierta protegida de la lluvia. Los criterios de selección más importantes son las características de los residuos que se van a compactar, el rendimiento del producto y las restricciones mecánicas de la instalación.

### 3.4.- INSTALACIONES PARA MANIPULACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El traslado eficaz de los RSU en una IRM o en una estación de transferencia es muy importante para el funcionamiento de estas instalaciones. Un mal diseño puede crear atascos, reduciendo así la eficacia de todo el sistema de procesamiento.

**Cintas transportadoras:** son los equipos más utilizados para la manipulación de residuos, se utilizan para trasladar RSU no seleccionados así como materiales reciclados. Es una cinta sin fin, apoyada sobre rodillos libres antifricción y conducida desde un extremo por un rodillo motriz. Las cintas se hacen de goma, lona o materiales sintéticos para manipular materiales reciclados que son relativamente ligeros. Se diseñan en base a la velocidad de la cinta, al rendimiento por peso (kg/h o t/h), a la potencia en caballos y al espesor del material sobre la cinta.

Se han utilizado velocidades de 0.05m/sg para cintas transportadoras metálicas y de 0.5 a 2.5 m/sg para las flexibles.

Figura 3.10.- Cinta transportadora

Fuente: [www.gomafiltros.com](http://www.gomafiltros.com)



#### **Transportadoras utilizadas para la separación manual de residuos**

La separación manual de materiales está ganando de nuevo en popularidad porque se pueden producir materiales de más alta calidad. El uso de transportadoras en una línea de selección permite la mecanización parcial del proceso e incrementan la eficacia y seguridad laboral. Son factores críticos en el diseño de cintas de selección la anchura de la cinta, la velocidad y el espesor medio del material residual sobre la cinta. La anchura máxima, cuando la separación se hace desde cualquier de los lados de la cinta, es aproximadamente de 1.20m. Las velocidades de las cintas varían de 0.075 a 0.45 m/s.



*Figura 3.11.- Separación manual  
de residuos*

### **Transportadoras neumáticas**

Pueden usarse las para trasladar materiales triturados como papel de periódico, plástico, combustible derivado de residuos. Los sistemas de transporte neumáticos están formados por un ventilador, un dispositivo de alimentación, una tubería y un aparato de descarga, normalmente un ciclón. Pueden operarse los sistemas al vacío, por debajo de la presión atmosférica, o como sistemas de presión, trabajando hasta con 35 cm de presión de agua.

## **4.- RECOGIDA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

El término recolección, incluye no solamente la recolección de los RSU de diversos orígenes, sino también el transporte de estos hasta el lugar donde los vehículos de recolección se vacían.

La recolección de residuos sólidos, no seleccionados y separados, en una zona urbana es difícil y compleja, ya que la generación de residuos comerciales-industriales y domésticos se produce en cada casa, en cada bloque de viviendas, en cada instalación comercial e industrial, así como en las calles, en los parques, e incluso en zonas vacías.

### **4.1.-RECOGIDA DE RSU NO SELECCIONADOS**

#### **De viviendas aisladas de baja altura:**

- Acera o callejón: el propietario de la casa es el responsable de colocar los contenedores que hay que vaciar en la acera el día de la recolección, y de devolver los contenedores vacíos a su lugar de almacenamiento hasta la siguiente recolección.

- Sacar-devolver: los contenedores son sacados de la propiedad y devueltos después de ser vaciados por operarios extras que trabajan conjuntamente con los operarios responsables de la carga del vehículo de recolección.
- Sacar: es el mismo que el de sacar-devolver, excepto que el propietario de la casa es el responsable de devolver los contenedores a su lugar de almacenamiento.

Los métodos manuales utilizados para la recolección de residuos domésticos incluyen el levantamiento directo y el porte de los contenedores cargados hasta el vehículo de recolección, el deslizamiento de los contenedores cargados sobre sus ruedas hasta el vehículo de recolección para su vaciado, y el uso de pequeños montacargas para llevar los contenedores cargados al vehículo de recolección.

Para la recolección en acera, cuando se utilizan vehículos de recolección con una baja altura de carga, los operarios de recolección transfieren los residuos directamente desde los contenedores en que son almacenados o llevados al vehículo de recolección.



*Figura 4.1.- Recolección de residuos en la acera*

También se puede hacer uso de pequeños vehículos satélite. Cuando se ha cargado el contenedor, el vehículo satélite se conduce hasta el vehículo de recolección, donde se vacía el contenedor en el camión por medios mecánicos. Cuando se usan vehículos de recolección cargados mecánicamente, el contenedor utilizado para el almacenamiento in situ de los residuos se debe llevar a la acera o a otro lugar de recolección adecuado.



*Figura 4.2.- Vehículo satélite*

### **De bloques de viviendas de baja y mediana altura**

El servicio de recogida en acera es común para este tipo de viviendas, normalmente la plantilla de mantenimiento es la responsable del transporte de los contenedores a la calle para su recolección en acera mediante medios manuales o mecánicos.

### **De bloques de viviendas elevados**

Se utilizan grandes contenedores, según el tamaño y tipo del contenedor utilizado, se pueden vaciar mecánicamente utilizando vehículos de recolección equipados con mecanismos de descarga, o los contenedores cargados pueden ser transportados a otro lugar, donde se descargan los contenidos.

### **De instalaciones comerciales-industriales**

Para evitar la congestión de tráfico durante el día, en muchas grandes ciudades se recogen por la noche y por la mañana muy temprano los residuos sólidos de establecimientos comerciales. Cuando se utiliza la recolección manual, los residuos de establecimientos comerciales son colocados en bolsas que son colocadas en la acera para su recolección. La recolección de los residuos normalmente se lleva a cabo con un equipo de tres operarios que cargan los residuos desde la acera al vehículo de recolección.

Si la congestión no es un problema importante y hay espacio disponible para almacenar contenedores, el servicio de recolección se concentra en el uso de contenedores móviles, contenedores que se pueden acoplar a grandes compactadoras estacionarias, y contenedores abiertos de gran capacidad.



*Figura 4.3.-  
Contenedor de gran  
capacidad*

#### **4.2.- RECOGIDA DE RSU SEPARADOS EN ORIGEN**

##### **Recolección doméstica en acera**

Los residuos reciclables separados en origen son recogidos en la acera, callejón o instalación comercial, separadamente de los no seleccionados. Como los residentes y comercios no tienen que transportar los reciclables más allá de la acera, los programas de acera normalmente tienen una tasa de participación mucho más alta que los programas de centros de recolección selectiva.



Fuente: [www.prevencioresidus.badiadelvalles.org](http://www.prevencioresidus.badiadelvalles.org)

*Figura 4.4.- Recolección doméstica en acera de productos separados en origen*



### 4.3.-SISTEMAS DE RECOLECCIÓN, EQUIPAMIENTO Y NECESIDADES DEL PERSONAL

#### Sistemas de contenedor

Son idóneos para la recolección de residuos procedentes de centros con una alta tasa de generación, porque se utilizan contenedores relativamente grandes. Esto reduce el tiempo de manipulación, así como las desagradables acumulaciones y condiciones poco sanitarias asociadas al uso de contenedores más pequeños. Otra ventaja es la flexibilidad: hay contenedores disponibles en muchos tamaños y formas diferentes.

Mientras los sistemas de contenedor tienen la ventaja de necesitar solamente un camión y un conductor para cumplir el ciclo de la recolección, cada contenedor tomado requiere un viaje de ida y vuelta al lugar de evacuación. Por lo tanto, el tamaño y la utilización del contenedor son de gran importancia económica.

#### Sistemas con camión eleva-contenedor

Se utilizan para la recolección de residuos por parte de un recolector que opera en un área pequeña y recoge solamente en unos pocos puntos de toma donde se generan una cantidad considerable de residuos, además para la recolección de artículos voluminosos y residuos industriales, tales como chatarra y escombros de construcción, ya que no son aptos para la recolección con vehículos de compactación.

#### Sistemas de contenedor camión volquete

Son idóneos para la recolección de todos los tipos de residuos sólidos y desechos en localizaciones donde las tasas de generación justifiquen el uso de grandes contenedores. Se utilizan contenedores abiertos normalmente en almacenes y en lugares de construcción.



*Figura 4.5.- Camión Volquete*

### **Sistemas contenedor-remolque**

Son los mejores para la recolección de residuos especialmente pesados, tales como arena, madera, metal de chatarra y frecuentemente se utilizan para la recolección de residuos de lugares de demolición y construcción.

### **Necesidades de personal para el sistema de contenedor transportado**

Se utiliza un único recolector-conductor que es el responsable de conducir el vehículo, vaciar los contenedores en el lugar de evacuación y volver a su sitio los contenedores vacíos. En algunos casos, por razones de seguridad se utilizan dos personas, un conductor y un ayudante. Siempre se debe usar un conductor y un ayudante cuando se van a manejar residuos peligrosos.

### **Sistemas con vehículos de recolección cargados mecánicamente**

El tamaño y la utilización del contenedor no son tan críticos en los sistemas de caja fija que utilizan vehículos de recolección equipados con un mecanismo de compactación como lo son en sistemas de camión volquete. Los viajes a la instalación de recuperación de materiales (IRM) o lugar de evacuación se hacen después de haber recogido y compactado los contenidos de varios contenedores y que se llene el vehículo de recolección. Por esta razón, la utilización del conductor en términos de cantidades de residuos transportados es considerablemente mayor en estos sistemas que en sistemas de contenedor.

Los contenedores varían desde algunos relativamente pequeños (800l) hasta tamaños comparables con aquellos manipulados por un camión volquete. Los contenedores más pequeños ofrecen mayor flexibilidad en términos de forma, facilidad de carga, y también conducen a un considerable incremento en su utilización.

Como la carrocería de los camiones es difícil de mantener por los pesos implicados, estos sistemas no son aptos para la recolección de residuos industriales pesados y basuras en bruto, como se producen en lugares de demolición.



*Figura 4.6.- Vehículo de recolección  
cargado mecánicamente*

### **Sistemas con vehículos de recolección cargados manualmente**

La mayor aplicación de métodos manuales de carga es en la recolección de residuos domésticos y de la calle. La carga manual puede competir eficazmente con la carga mecánica en las zonas residenciales, porque la cantidad de recolección en cada localización es pequeña y el tiempo de carga es corto. Además, se utilizan métodos manuales para la recolección doméstica porque muchos puntos de toma individuales son inaccesibles a los vehículos de recolección mecanizados con carga automática.

En los sistemas de caja fija donde se carga manualmente el vehículo de recolección, el número de recolectores varía de uno a tres en la mayoría de los casos, normalmente se usan dos personas, un recolector y un conductor, para el servicio de acera y callejón, y un equipo multipersonal para el servicio de patio posterior.

En los sistemas de recolección con vehículos satélite, se utiliza un recolector-conductor para cada vehículo satélite de recolección. Mientras se cargan los vehículos satélite, el recolector-conductor del vehículo principal recoge los residuos localizados en la acera a lo largo de su itinerario.

### **4.4.-Itinerarios de recolección**

Una vez determinadas las necesidades de equipamiento y mano de obra, hay que fijar los itinerarios de recolección para utilizar así eficazmente tanto a los recolectores como al

equipamiento. El diseño implica una serie de pruebas dado que no hay normas fijas que se puedan aplicar a todas las situaciones. Algunas líneas que se deberían tener en consideración son:

- Identificar las políticas y normativas existentes relacionadas con algunos asuntos como el punto y la frecuencia de recolección.
- Coordinar las características del sistema existente, tales como el número de operarios y los tipos de vehículos.
- Los itinerarios deberían ser diseñados para que empiecen y terminen cerca de calles principales, utilizando las barreras topográficas y físicas como borde del itinerario. El último contenedor que hay que recoger debería encontrarse lo más cerca posible del lugar de evacuación.
- En zonas de colinas, empezar en la parte más alta y continuar cuesta abajo mientras se cargan los vehículos.
- Deberían recogerse los residuos localizados en zonas de congestión vial a una hora del día tan temprana como fuera posible.
- Se deberían servir las fuentes que generan cantidades muy grandes de residuos durante la primera parte del día.
- Los puntos de toma desperdigados que reciben la misma frecuencia de recolección deberían ser servidos, si es posible, durante un solo viaje o en el mismo día.

#### **4.5.-MANIPULACIÓN Y SEPARACIÓN DE RSU EN VIVIENDAS RESIDENCIALES**

Una clasificación basada en el número de plantas es adecuada para el propósito de analizar el manejo y separación de residuos en las viviendas residenciales.

Las tres clasificaciones utilizadas con más frecuencia, son éstas: de baja altura, menos de 4 plantas; de mediana altura, de 4 a 7 plantas; y bloques elevados, más de 7 plantas.

##### **Viviendas aisladas de baja altura**

Los residentes o inquilinos son los responsables de colocar los residuos sólidos y materiales reciclables que se generan y acumulan dentro de y alrededor de sus viviendas, en contenedores de almacenamiento.

Los tipos de contenedores utilizados dependen de que la separación de residuos sea obligatoria o no. En muchas comunidades se ha tomado la decisión de no obligar a los residentes a separar sus residuos, consiguiendo las metas de desviación obligatorias mediante el uso de las instalaciones de recuperación de materiales (IRM).

En los sistemas donde los componentes de residuos son separados, los residuos sólidos restantes después de la separación de los materiales reciclables son colocados en uno o más contenedores grandes. En algunas residencias las compactadoras de residuos se están utilizando para reducir el volumen de residuos que hay que recoger. Los residuos compactados normalmente son colocados en contenedores de residuos o en bolsas de plástico cerradas. El propietario de la casa o los inquilinos son los responsables de transportar los contenedores utilizados para el almacenamiento de los residuos sólidos que quedan después de haber separado los materiales reciclables, hasta la acera de la calle para su recogida.

### **Bloques de viviendas de baja altura y mediana altura**

#### **Almacenamiento en sótano/recogida en acera**

El propietario del edificio proporciona una habitación o zona de almacenamiento en el sótano para el almacenamiento de residuos sólidos. Los residentes llevan sus residuos y materiales reciclables a la zona de almacenamiento, y los depositan en el contenedor adecuado. Los operarios de mantenimiento son los responsables del transporte de los contenedores hasta la calle para la recogida en acera.

#### **Almacenamiento al aire libre/recogida mecánica**

Los grandes contenedores utilizados para el reciclaje y almacenamiento de residuos frecuentemente están localizados al aire libre en patios especiales. Se vacían mecánicamente con vehículos de recogida equipados con mecanismos de descarga. Los residentes llevan sus residuos y materiales reciclables a la zona de almacenamiento y los depositan en contenedores apropiados. Si es necesario, los operarios de mantenimiento son los responsables de mover los contenedores hasta el punto de recogida.

### **Bloques de viviendas elevados**

- Los residuos son recogidos por el personal de mantenimiento o los porteros del edificio desde las plantas y son llevados a la zona de servicio
- Los residuos son llevados a la zona de servicio por los inquilinos
- Los residuos, normalmente en bolsas, son colocados por los inquilinos en conductos verticales especialmente diseñados con entradas en cada planta normalmente en la zona de servicio donde son recogidos en grandes contenedores, compactados o directamente embalados.

Los operarios de mantenimiento del edificio son los responsables de la manipulación de los residuos comprimidos y de cualquier otro residuo o material reciclable que los inquilinos lleven a la zona de servicio.

Los conductos utilizados en bloques elevados están disponibles en diámetros de 30 a 90 cm siendo el más común el de 60 cm. El uso de una unidad de desinfección y saneamiento se recomienda porque la limpieza del conducto y la ausencia de olores generalmente dependen de su uso. En el diseño de los conductos, se deben considerar las tasas de descarga en edificios con conductos. Para elegir el tamaño de los conductos es común suponer que el peso específico bruto de los residuos sólidos es igual a  $100 \text{ kg/m}^3$ , todos los residuos diarios se descargarán dentro de un período de 4h entre 1 y 1.5 kg de residuos serán generados por cada inquilino diariamente.

En algunos de los edificios construidos más recientemente, se han utilizado sistemas de transporte neumáticos subterráneos conjuntamente con conductos individuales para el edificio de baja presión o en vacío. Estos sistemas transportan los residuos desde los puntos de descarga de los conductos hasta instalaciones de procesamiento centralizadas. La aplicación más común es el transporte de residuos de bloques de viviendas o de actividades comerciales de alta densidad con una localización central para el procesamiento y la carga de residuos en vehículos de transporte. Desde el punto de vista del diseño y operación, los sistemas neumáticos son más complejos que los hidráulicos por las complejas válvulas de control y mecanismos auxiliares que son necesarios. Como los costes de instalación son bastante altos, son más rentables cuando se utilizan en instalaciones nuevas.

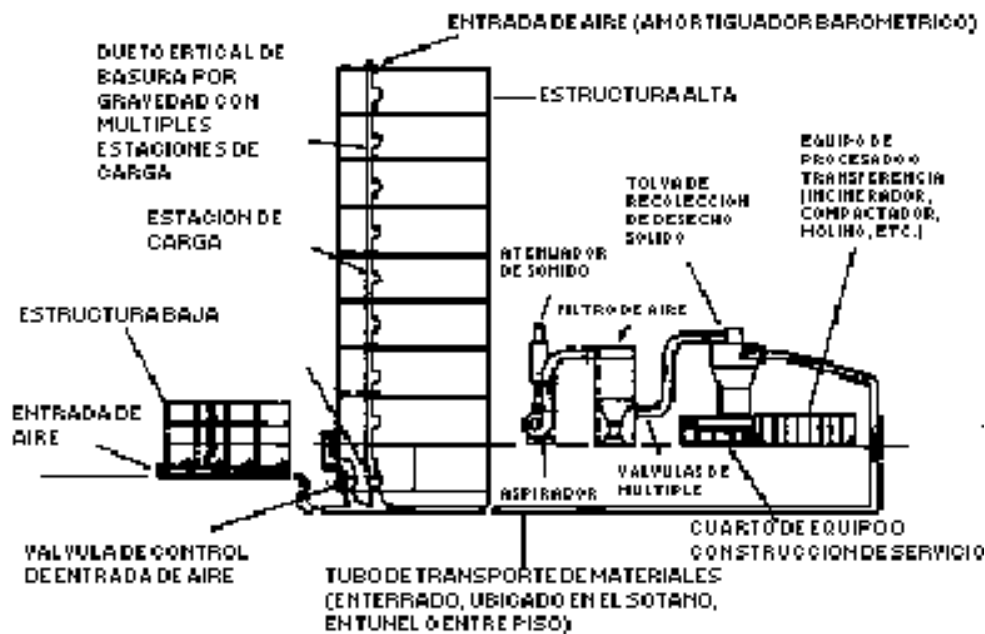


Figura 4.7.- Sistema de recogida neumática de residuos

#### 4.6.- MANIPULACIÓN Y SEPARACIÓN DE RSU EN INSTALACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES

Los residuos sólidos que se acumulan en las oficinas individuales o en los lugares de trabajo usualmente son recogidos en contenedores relativamente grandes montados sobre rodillos. Se vacían en grandes contenedores de almacenamiento y se utilizan compactadoras conjuntamente con los contenedores.

En muchos edificios de oficinas y comerciales, se recoge actualmente para el reciclaje todo el papel de oficina. En grandes instalaciones comerciales se utilizan equipos de embalaje para el papel y prensas para las latas de aluminio.

#### 4.7.-ALMACENAMIENTO DE RSU EN ORIGEN

##### 4.7.1.-Efectos del almacenamiento sobre los componentes de los RSU

###### Descomposición microbiológica

Si se dejan los residuos, sobre todo de alimentación o similares en contenedores de almacenamiento durante largo períodos de tiempo, las moscas empiezan a reproducirse y pueden desarrollarse compuestos olorosos.

### **Absorción de fluidos**

Como los componentes que conforman los RSU tienen diferentes contenidos iniciales de humedad, se produce un equilibrio mientras los residuos permanecen almacenados in situ en contenedores. El grado de absorción depende del tiempo durante el que los residuos permanecen almacenados hasta su recogida. Si se dejan durante más de una semana en contenedores cerrados, la humedad se distribuirá a través de los residuos. Si no se utilizan tapas a prueba de agua, los residuos también absorberán el agua de lluvia que entra en los contenedores parcialmente cubiertos.

### **Contaminación de los componentes de los RSU**

Quizás el efecto más grave del almacenamiento in situ de los residuos es la contaminación que produce. El efecto de esta contaminación es que se reduce el valor de los componentes individuales para el reciclaje, aunque también se puede argumentar que esta contaminación es beneficiosa respecto a la evacuación de estos residuos en un vertedero. Se reducen considerablemente las concentraciones de los contaminantes individuales cuando los componentes de residuos contaminados son extendidos y compactados para su vertido.

#### **4.7.2.-Tipos de contenedores**

Dependen de las características y tipos de residuos sólidos que hay que recoger, del tipo de sistema de recogida utilizado, de la frecuencia de la recogida, y del espacio disponible.

**Viviendas de baja altura con servicio manual de recogida de residuos en acera:** los residuos sólidos se recogen manualmente en la acera para la mayoría de las viviendas residenciales aisladas y de baja altura, los contenedores deben ser suficientemente ligeros para ser manipulados por un solo recogedor cuando están llenos. Generalmente el límite de peso superior

debería estar entre 18 y 30 kg. El contenedor de 110 l hecho de metal galvanizado o de plástico se ha probado como la forma más económica de almacenamiento.



Figura 4.8.- Contenedor de 110 l de metal galvanizado



La elección del material del contenedor depende de las preferencias del propietario de la casa. Los contenedores de metal galvanizado tienden a ser ruidosos cuando se vacían, y con el tiempo pueden dañarse. Aunque hacen menos ruido en su manipulación, algunos contenedores de plástico tienden a agrietarse cuando son expuestos a los rayos ultravioletas del sol y a temperaturas bajo cero grados.

Bajo circunstancias normales, se recogen los contenedores temporales con los residuos. El principal problema de estos contenedores es la dificultad que implica cargarlos. Los contenedores de papel y cartón tienden a desintegrarse por el escape de líquidos.

Por la amplia disponibilidad de productos de papel y plástico, la utilización de sacos de plástico es actualmente muy común. Están disponibles en todo tipo de resistencia y calidad del material. Una desventaja del uso de sacos es que si los residuos van a ser separados por componentes, es necesario romper el saco en una operación previa al proceso.

### **Viviendas de baja altura con servicio mecanizado de recogida en acera**

El contenedor utilizado para el almacenamiento in situ de residuos es una parte integral del sistema de recogida. Los contenedores están diseñados para trabajar con el mecanismo de descarga del contenedor acoplado al vehículo de recogida.

### **Bloques de viviendas de baja y mediana altura**

Lo más utilizado son los contenedores individuales de plástico o metal galvanizado y grandes contenedores portátiles y fijos. Cuando los bloques de viviendas están agrupados, los contenedores asignados a cada vivienda a menudo se localizan en una zona común. Normalmente se guardan estos contenedores en una zona cerrada con fácil acceso desde una calle cercana y los patios suelen estar cubiertos.

### **Bloques de viviendas elevadas**

Cuando se dispone de conductos de residuos, no se usan otros contenedores de almacenamiento. Las medidas más comunes para almacenar los residuos acumulados de las viviendas individuales incluyen: contenedores de almacenamiento cerrados o bolsas desechables utilizadas conjuntamente con equipos de compactación, grandes contenedores abiertos para residuos voluminosos y para materiales reciclables.

### **Instalaciones comerciales**

Dependerá de los métodos de recogida, de los residuos producidos en los distintos lugares dentro de la instalación, y del espacio disponible. Normalmente, se usan los grandes contenedores abiertos para residuos no separados. El uso de contenedores equipados con mecanismos de compactación se está incrementando.

#### **4.7.3.-Lugares de almacenamiento de contenedores**

Dependen del tipo de vivienda o instalación comercial e industrial, del espacio disponible, y del acceso a los servicios de recogida.

#### **Viviendas residenciales**

En viviendas aisladas los contenedores se suelen dejar al lado o cerca de la casa, en callejones cuando hay recogida de callejón y dentro o al lado del garaje. Para el almacenamiento de contenedores de RSU en edificios de pisos de baja o mediana altura se pueden incluir el almacenamiento en sótano y al aire libre. En los bloques de viviendas elevados, el equipo de almacenamiento y procesamiento de residuos se localizan en el sótano del edificio.

#### **Instalaciones comerciales e industriales**

Depende de la localización del espacio disponible y de las condiciones de acceso-servicio. En muchos de los diseños nuevos se han incluido zonas de servicio específicamente para este propósito.

#### **Salud pública y estética**

Aunque los RSU domésticos representan una proporción relativamente pequeña de los residuos totales generados, quizás son los más importantes, puesto que se generan en zonas con un espacio limitado para el almacenamiento. Por esta razón pueden tener impactos importantes sobre la salud pública y la estética.

Las inquietudes de salud pública están relacionadas primordialmente con la infestación de las zonas utilizadas para el almacenamiento de residuos sólidos, con alimañas e insectos que frecuentemente sirven como vectores sanitarios potenciales.

La medida más eficaz para controlarlos es una higiene correcta, que implica el uso de contenedores con tapas ajustadas, lavar los contenedores y la zona de almacenamiento periódicamente y la separación de los materiales biodegradables.

Las condiciones estéticas están relacionadas con la producción de olores y con las condiciones repugnantes que pueden desarrollarse cuando no se presta la atención adecuada al mantenimiento de las condiciones de higiene.

#### **4.8.-PROCESAMIENTO DE RSU EN VIVIENDAS RESIDENCIALES**

Se utiliza el procesamiento de residuos para reducir el volumen, recuperar materiales reutilizables o alterar la forma física de los residuos sólidos.

##### **Trituración de residuos de comida**

Se usan principalmente para los residuos procedentes de la preparación, cocción y servicio de comida. Funcionalmente dejan el material que pasa a través de ellas apto para su transporte en el sistema de alcantarillas.

Como el material orgánico añadido a las aguas residuales ha ocasionado una sobrecarga de muchas instalaciones de tratamiento, ha sido necesario prohibir en muchas comunidades la instalación de trituradoras de residuos de comida en las nuevas construcciones hasta que esté disponible una capacidad adicional de tratamiento.

##### **Unidades de compactación domésticas**

Las pretensiones de los fabricantes de estas unidades, en términos de relación de compactación, normalmente están basadas en la compactación de papel suelto y ondulado. Aunque las compactadoras pueden reducir el volumen original de los residuos hasta el 70%, solo se pueden utilizar para una pequeña proporción de los residuos generados. El uso de estas también puede ser contraproducente si se van a separar los residuos mecánicamente en componentes en un IRM, los residuos tienen que ser separados de nuevo antes de ser seleccionados.

##### **Compactadoras para grandes bloques de viviendas**



Normalmente se instala un compactador al fondo de un conducto de residuos sólidos. Los residuos que caen por el conducto activan la compactadora mediante células fotoeléctricas o interruptores de límite. Una vez activados estos interruptores, se comprimen los residuos. Según el diseño de la compactadora, los residuos comprimidos pueden formar balas o ser expulsados y cargados automáticamente en contenedores de metal o en bolsas de papel. Cuando se ha formado una bala o se ha llenado una bolsa, la compactadora automáticamente se apaga y se enciende una luz de advertencia. Entonces el operario tiene que atar y quitar la bala o bolsa de la compactadora y reemplazarla por una vacía.

Si no se rompen las balas de residuos es imposible recuperar los componentes individuales de los residuos compactados. Cuando se utilizan las incineradoras, hay que romper los residuos compactados para evitar una combustión retrasada en el horno y altas pérdidas de materiales combustibles no quemados.

#### **4.9.-PROCESAMIENTO DE RSU EN INSTALACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES**

La compactación del embalaje de cartón residual en los mercados y otros establecimientos comerciales es bastante común. El tamaño de las balas varía, pero normalmente son de unos 90-120-150 cm. El cartón embalado es reprocesado para la producción de materiales de embalaje, o transportado al extranjero para su transformación en diversos productos.

Se utiliza la trituración en establecimientos comerciales y en agencias gubernamentales para destruir documentos que ya no son de valor.

Aunque los sistemas de pulpeado con agua funcionan bien, son caros, y normalmente implican la descarga al sistema local de recogida de aguas residuales. Como la descarga del material incrementa la carga orgánica sobre las instalaciones locales del tratamiento, el uso de trituradoras puede restringirse si la capacidad de tratamiento es limitada.

### **5.- TRANSPORTE DE RSU**

#### **5.1-NECESIDAD DE LAS OPERACIONES DE TRANSFERENCIA**

En el campo de la gestión de residuos sólidos, el elemento funcional transferencia y transporte se refiere a los medios, instalaciones y accesorios utilizados para efectuar la transferencia de residuos desde un lugar a otro, normalmente más distante.



Las operaciones de transferencia y transporte llegan a ser necesarias cuando las distancias de transporte a centros de procesamiento o a las zonas de evacuación disponibles se incrementan tanto que el transporte directo ya no es económicamente factible. Cuando los centros de procesamiento o las zonas de evacuación están situados en lugares alejados y donde no se puede llegar directamente por carretera. Por ejemplo, son necesarias cuando se tienen que utilizar vagones de ferrocarril o barcazas marítimas para transportar residuos al punto final de evacuación. Cuando se utilizan vehículos de recolección relativamente pequeños y cargados manualmente para la recolección de residuos domésticos y se necesitan largas distancias de transporte. Las operaciones de transferencia son una parte integral de las IRM.

Por las inquietudes sobre seguridad y las múltiples restricciones que gobiernan el funcionamiento de vertederos, muchos operadores de vertederos han construido estaciones de transferencia convenientes en el lugar de vertido, para la descarga de residuos llevados por particulares y transportistas de pequeñas cantidades.

## 5.2.-TIPOS DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

### 5.2.1.- Carga directa:

**Carga directa de gran capacidad sin compactar:** los residuos del vehículo de recogida se vacían directamente en el vehículo de transporte utilizado para transportarlos al lugar de evacuación final. Para conseguir esto, las estaciones de transferencia se construyen en dos niveles. El muelle de descarga, desde el que se descargan los residuos que están en los vehículos de recogida sobre grandes remolques de transporte suele estar elevado, o bien los remolques de transporte suelen situarse en rampas.

**Carga directa con capacidad media y pequeña con compactadora:** después de pesar los camiones, éstos entran en la estación de transferencia, donde son dirigidos a un lugar de descarga. El lugar de descarga puede ser una de las tolvas individuales que alimentan una compactadora o una de las fosas rectangulares para recibir residuos. Cada fosa está equipada con una placa hidráulica, que se utiliza para empujar los residuos acumulados a la tolva de la compactadora localizada en el fondo contrario de la fosa. Si no hay semirremolques que cargar, se descargan los residuos temporalmente en la plataforma de descarga, desde donde son cargados a las tolvas de las compactadoras con una pala frontal con cubiertas macizas de goma.

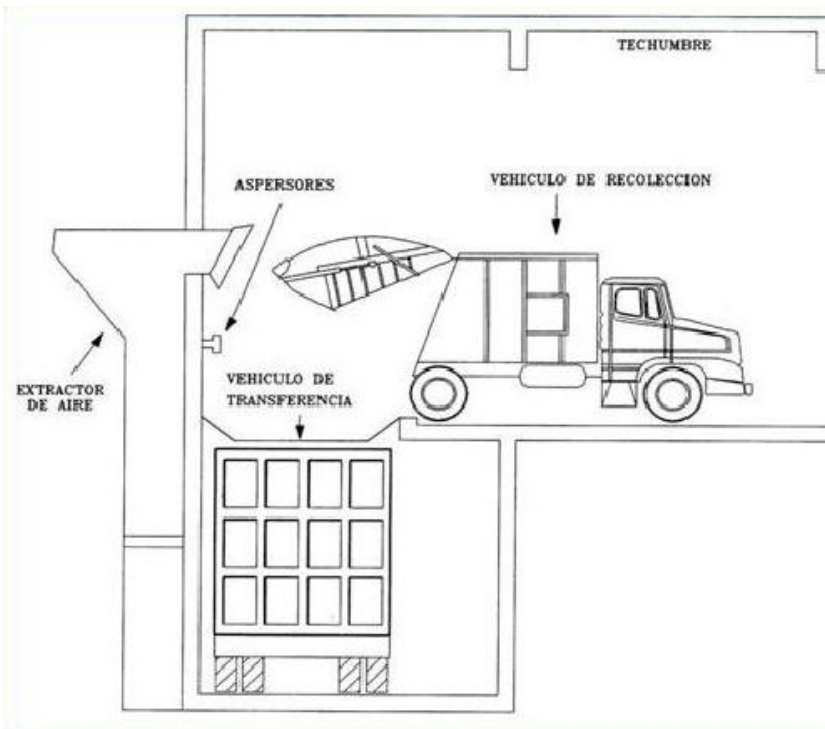


Figura 5.1.-Carga directa en vehículos de gran capacidad sin compacta

### Carga directa de gran capacidad con compactadora

Una variante popular de la estación de transferencia anteriormente descrita es el cambio de los vehículos de transferencia abiertos, donde los residuos no son compactados por vehículos con dispositivos de compactación. El dispositivo de compactación puede utilizarse para compactar residuos directamente en los remolques de transporte o para producir balas de residuos.

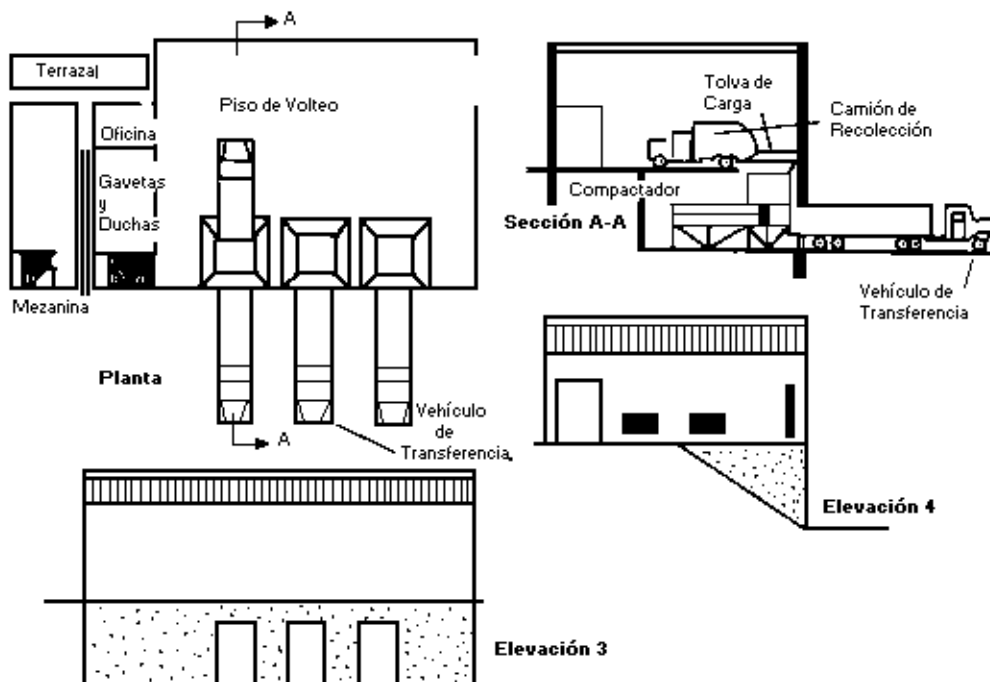


Figura 5.2.- Carga directa en vehículos de gran capacidad con compactadora

### **Carga directa de baja capacidad utilizada en el vertedero**

Se utiliza en los vertederos para particulares y transportistas de pequeñas cantidades. Las instalaciones de transferencia también son utilizadas para la recuperación de materiales reciclables. Después de separar los artículos reciclables, se vacían los materiales residuales en dos grandes remolques de transferencia, cada uno de ellos es transportado al lugar de evacuación, vaciado y devuelto a la estación.

### **5.2.2.-Carga y almacenamiento**

En estas estaciones, se vacían los residuos directamente en una fosa de almacenamiento desde la cual son cargados en vehículos de transporte mediante diversos tipos de equipamiento auxiliares. La diferencia con las de carga directa es que estas últimas están diseñadas con capacidad para almacenar residuos, normalmente de 1 a 3 días.

### **Gran capacidad sin compactación**

Todos los camiones de recogida que entran se dirigen a una estación de pesaje informatizada para ser pesados. El jefe de pesaje registra el nombre de la compañía, la identificación individual del camión y la hora de entrada. Dicho jefe procede a dirigir al conductor hacia la derecha o izquierda respecto a la entrada principal de la estación de transferencia cerrada. Una vez dentro, el conductor del vehículo de recogida da marcha atrás formando un ángulo de 50º con el borde del foso central para almacenamiento de residuos. El contenido del vehículo se vacían en la fosa y el vehículo vacío abandona la estación de transferencia.

Dentro del foso, se utilizan dos motoniveladoras para romper los residuos y empujarlos a las tolvas situadas en un extremo del foso. Los residuos caen a través de las tolvas en remolques localizados en un nivel inferior.

### **Capacidad media con instalaciones de procesamiento y compactación:**

Primero se descargan los residuos en una fosa de almacenamiento. Desde la fosa de almacenamiento, se empujan los residuos sobre un sistema transportador y se llevan a la trituradora. Después de la trituración, se separa el metal férreo, y los residuos son compactados en remolques de transferencia para su transporte al lugar de evacuación.

### **5.3.-DISEÑO Y REQUISITOS**

#### **Tipo de estación de transferencia**

La cuestión clave consiste en saber si se van a incorporar las operaciones de recuperación de materiales a la estación de transferencia o no, para la decisión de incorporar una zona adecuada donde descargar los vehículos de recogida.

#### **Requisitos de capacidad**

La capacidad de rendimiento debe ser tal, que los vehículos de recogida tengan que esperar el mínimo tiempo posible para descargar. Por el aumento del coste del equipo de transporte, se debería hacer un análisis de balance entre la capacidad de la estación y el coste de la operación de transporte, incluyendo los componentes de equipamiento y mano de obra. La capacidad nominal de almacenamiento casi nunca excederá el volumen de residuos de tres días.

#### **Requisitos de equipamiento y accesorios**

Dependen de la función o funciones que tiene la estación dentro del sistema de gestión de residuos. En una estación de transferencia de carga directa se necesita algún tipo de vehículo, para manejar los residuos en los vehículos de transferencia. Se necesita otro vehículo para empujar los residuos y volcar la carga en los vehículos de transferencia.

En una estación de almacenamiento y carga tipo fosa, hacen falta uno o más tractores para romper los residuos y empujarlos a la tolva de carga. Se necesita equipamiento adicional para distribuir los residuos y balancear las cargas.

Se deberían colocar básculas en todas las estaciones de transferencia de tamaño medio y grande para controlar la operación y para desarrollar datos significativos de gestión e ingeniería. También son necesarias las básculas cuando el público va a utilizar la estación de transferencia, y se basan las tarifas en el peso.

#### **Requisitos ambientales**

La mayoría de las estaciones de transferencia modernas y grandes están cerradas y construidas con materiales de fácil mantenimiento y limpieza. Para eliminar emisiones accidentales, las



instalaciones cerradas deberían tener equipamiento para tratar el aire que crea una presión negativa dentro de la instalación. Se utiliza una construcción a prueba de fuegos para las estaciones de transferencia de carga directa con zonas de carga abiertas. El diseño y la construcción deberían ser tales que se eliminasen todas las zonas donde se pudieran acumular basura o papeles. La mejor forma de mantener las condiciones sanitarias globales consiste en controlar la operación continuamente. Se deberían recoger inmediatamente los residuos sólidos caídos, o acumularlos durante más de 1 o 2 horas.

### **Salud y seguridad**

Las cuestiones de salud y seguridad están relacionadas con la inspiración del polvo y con otros requisitos de la OSHA. En la zona de almacenamiento de una estación de transferencia de almacenamiento y carga, se utilizan tuberías superiores de riego para controlar el polvo. En las de almacenamiento y carga, los tractores deberían tener cabinas cerradas equipadas con aire acondicionado, y unidades para filtrar el polvo. Por razones de seguridad, no se debería permitir que el público descargue los residuos directamente a la fosa en las grandes estaciones de transferencia de almacenamiento y carga.

### **Localización**

Tan cerca como sea posible del centro de gravedad de las zonas individuales de producción de residuos sólidos que van a servir. Con fácil acceso a carreteras arteriales importantes, así como cerca de medios de transporte secundarios o suplementarios y donde haya una mínima objeción ambiental a las operaciones de transferencia, y la construcción y almacenamiento sea lo más económico posible.

### **5.4.-TRANSPORTE MEDIANTE VEHÍCULO MOTORIZADO**

Los medios más comunes utilizados para transportar RSU desde las estaciones de transferencia son remolques, semirremolques y compactadoras. Los vehículos utilizados para transportar residuos en vías públicas deberían satisfacer los siguientes requisitos:

- Cubrir los residuos durante la operación de transporte
- Utilizar vehículos diseñados para el tráfico vial

- Capacidad del vehículo ajustada a los límites de peso permitidos
- Utilizar métodos de descarga sencillos y fiables

### **Vehículos de transporte para residuos no compactados**

Por su sencillez y su fiabilidad, los semirremolques abiertos han encontrado una amplia aceptación para el transporte de residuos no compactados procedentes de estaciones de transferencia de carga-directa.

Son de construcción monobloque, el fondo del remolque sirve también como esqueleto del mismo. Utilizando este tipo de construcción se consigue el transporte de mayores volúmenes y pesos de residuos.

Los métodos utilizados para la descargar los camiones, remolques y semirremolques pueden clasificarse como: autodescarga y que precisan la ayuda de equipo auxiliar. Los camiones y semirremolques de autodescarga tienen mecanismos tales como rampas de descarga hidráulica, placas internas mecánicas, y suelos móviles que forman parte del vehículo.

Los sistemas de descarga que requieren equipamiento auxiliar usualmente son del tipo tirante, en los que los residuos son arrojados fuera del camión con una placa de contención móvil o cables de alambre puestos delante de la carga. La desventaja de necesitar equipamiento y mano de obra auxiliar para ayudar en la operación de descarga en el lugar de vertido es relativamente menor, puesto que el método es muy sencillo y fiable. Sin embargo una desventaja añadida inevitablemente es el tiempo de espera en el que el vehículo permanece sin utilizarse en el lugar de evacuación, hasta que el equipamiento auxiliar puede colocarse en la posición adecuada.

### **Vehículos de transporte y contenedores utilizados conjuntamente con instalaciones para la compactación de residuos**

Los semirremolques utilizados conjuntamente con instalaciones de compactación son diseñados para funcionar juntos. Normalmente la compactadora estacionaria compactará los residuos contra la placa interna del remolque. Cuando la presión de la placa alcanza un valor determinado el diafragma se mueve hacia dentro permitiendo que se compacten más residuos en el remolque. También se utiliza la placa para descargar el semirremolque en el lugar de evacuación.

Normalmente se descargaran los contenidos de los contenedores utilizados con compactadoras estacionarias inclinando el contendor y permitiendo que los contenidos caigan por acción de la gravedad. Si los residuos se comprimen demasiado la descarga puede ser problemática. Hay disponibles varios dispositivos de expulsión para vaciar los contenedores, el más común es la placa hidráulica móvil.

### **Transporte por ferrocarril y sistemas neumáticos**

Se suele hacer uso de los ferrocarriles para transportar residuos sólidos, especialmente hacia vertederos remotos donde viajar por carretera es difícil y existen líneas de ferrocarril

## **6.- COMPOSTAJE**

### **6.1.- METODOLOGÍA DE COMPOSTAJE**

#### **6.1.1.- Concepto de compostaje**

El compostaje es un proceso de fermentación aerobia de la materia orgánica y la experiencia que se tiene del mismo es amplia. Los pilares en los que se basa están muy definidos ya que el proceso está documentado desde el siglo I a.C. Desde entonces, los agricultores han seguido esta práctica natural utilizando la materia transformada como abono para los cultivos.

El compostaje se define como un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo que para que se lleve a cabo necesita: materia orgánica biodegradable, población microbiana inicial que permitirá el desarrollo del proceso y condiciones óptimas del mismo.

La técnica del compostaje se describe como biológica y oxidativa, ya que se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios que actúan de manera sucesiva sobre la materia orgánica inicial, produciendo una serie de reacciones que elevan la temperatura durante el proceso, reducen el volumen y el peso de los residuos y provocan su humificación y oscurecimiento.

El esquema básico del proceso de compostaje se sintetiza en la figura 1.

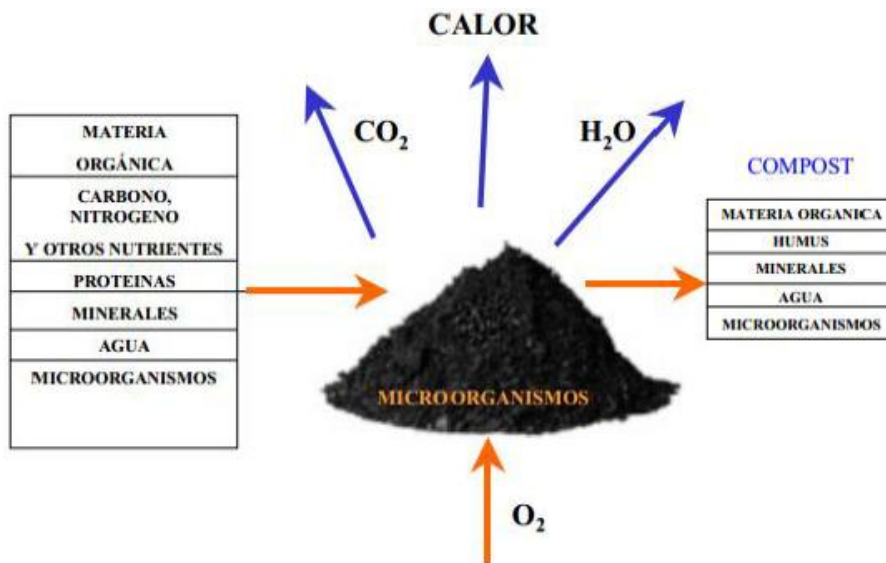


Figura 6.1.- Esquema del proceso de compostaje

Los principales objetivos del proceso de fermentación de la fracción orgánica son:

- Higienización de la materia orgánica: se consigue la destrucción o reducción de los microorganismos patógenos y la inhibición de la capacidad germinativa de las semillas presentes en los residuos.
- Reducción de olores en el producto final, por la estabilización de la materia orgánica.
- Reducción del volumen de la materia original: reducción de masa y volumen, debido a la reducción del contenido de agua y a la pérdida de materia seca, principalmente en forma de CO<sub>2</sub>.
- Estabilización y homogeneización de la materia orgánica, permitiendo su uso agrícola o en jardinería.

### 6.1.2.- Necesidad del compostaje

Ante el incremento de la generación de residuos y promovido por la legislación vigente que prioriza el reciclaje y la valorización de residuos como alternativa su deposición en vertederos, el compostaje se presenta como una tecnología sostenible para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos que permite la valorización de residuos mediante la degradación y estabilización de su contenido en materia orgánica, obteniendo compost, un abono natural.

Es una forma eficaz de reducir el volumen y alterar la composición física de los residuos sólidos y a la vez producir un subproducto útil. Esta transformación se lleva a cabo en cualquier casa mediante un compostador, sin ningún tipo de mecanismo, motor ni gasto de mantenimiento.

La basura diaria que se genera en los hogares contiene un 40% de materia orgánica, que puede ser reciclada y retornada a la tierra en forma de humus para las plantas y cultivos. De cada 100kg de basura orgánica se obtienen 30 kg de compost. De esta manera se contribuye a la reducción de las basuras que se llevan a los vertederos o a las plantas de valorización al mismo tiempo se consigue reducir el consumo de abonos químicos.



Figura 6.2.- El ciclo del compostaje

### 6.1.3.- Factores que intervienen en el proceso

Todas estas variables están influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar, la técnica de compostaje, la manera en que se desarrolla la operación y por su interacción.

Las variables más importantes que afectan al sistema de compostaje se clasifican en dos tipos:

1. Parámetros de seguimiento del proceso: aquellos que deben ser seguidos a lo largo de éste y controlados para que se sitúen entre los valores adecuados para que cada fase se desarrolle adecuadamente: **la temperatura, la humedad, la aireación y el pH.**

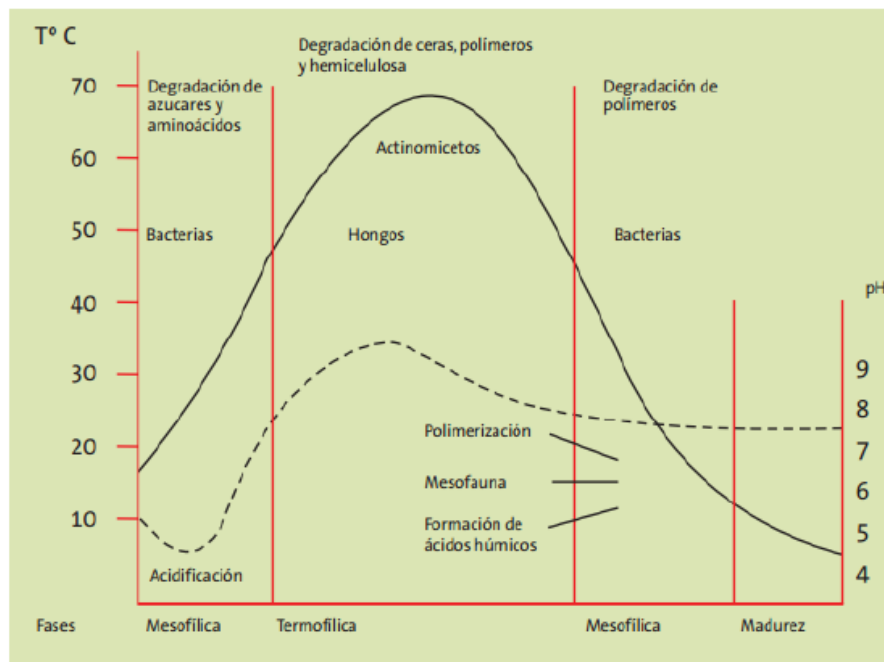
2. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato: que han de ser medidos y adecuados para que sus valores sean los correctos fundamentalmente al inicio del proceso: **el tamaño de la partícula y la relación C/N.**

Actualmente se hace necesario el control tanto del proceso de producción (compostaje) como del producto final (compost) para garantizar una óptima calidad y mínimos costes.

## 1. Temperatura

Es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso de compostaje, dado que es un indicador de la actividad biológica de los microorganismos. La evolución de la temperatura es un claro indicador de la evolución del compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de ésta afectan de manera determinante a la actividad microbiana en mayor proporción que otros factores como el pH, humedad o C/N. Asimismo existe una clara relación directa entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta. A veces, ésta ha llegado a ser tan elevada que inhibe el crecimiento de los microorganismos, produciéndose el fenómeno de *suicidio microbiano*.

Cada microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptimo en el cual desarrolla de manera eficaz su actividad: entre 15-40 °C se desarrollan correctamente los mesófilos y entre los 40-70 °C los termófilos. Así, los microorganismos que resulten beneficiados a una temperatura concreta son los que principalmente descompondrán la materia orgánica.



Fuente: Mustin, 1987

Figura 6.3- Evolució de la temperatura (-) y el pH (--) durante el proceso de maduración

## 2. Humedad

Al ser el compostaje un proceso biológico de descomposición, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos.

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa para que así permita la circulación tanto del oxígeno como de otros gases producidos en la reacción. La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70% y depende del tipo de residuos. La actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; y por encima del 70% el agua consigue desplazar al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y generando condiciones anaerobias, que dan lugar a malos olores y a una disminución de la velocidad del proceso. El exceso de humedad puede reducirse aumentando la aireación, mediante el volteo o la adición de aire.

## 3. pH

Varía durante el proceso del compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Se trata de un parámetro imprescindible a la hora de evaluar el ambiente microbiano y la estabilidad de los residuos.

La evolución del pH presenta tres fases principales:

- *Fase mesofílica inicial*, con una disminución del pH (entre 5 y 8) que ocasiona la liberación de ácidos orgánicos. ( $T < 45^{\circ}\text{C}$ ), al final de la cual se producen ácidos orgánicos.
- La *fase termofílica* que se caracteriza por una alcalinización del medio (pH entre 6-7,5), debido a la descomposición de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. ( $T > 45^{\circ}\text{C}$ )
- La fase mesofílica final que tiende a la neutralidad (pH 7-8) debido a la formación final de compuestos húmicos que poseen propiedades tampón, considerándose finalizado el proceso cuando alcanza de nuevo al temperatura inicial.

Se recomienda que el proceso de compostaje se desarrolle en un intervalo de pH 6,5 a 8,5. Un valor de pH cercano al neutro (pH 6,5 – pH 7,5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino, asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH menores que 5,5, pueden inhibir el crecimiento de la gran mayoría de los microorganismos, y valores marcadamente alcalinos también pueden ser agentes inhibidores del crecimiento microbiano, porque disminuye la disponibilidad de los nutrientes para los organismos.

#### 4. Aireación

La necesidad de aireación en el proceso de compostaje es imprescindible para asegurar el desarrollo de los microorganismos aerobios. Los niveles óptimos de oxígeno se sitúan entre el 5% y el 15%. Niveles de oxígeno menores que 5% pueden provocar condiciones anaerobias, mientras que niveles mayores que 15% pueden dar lugar a pérdidas de calor y a una mínima destrucción de los organismos patógenos.

No existen frecuencias preestablecidas de aireación, por lo que se recomienda airear cuando comienza a descender la temperatura, después de alcanzar su valor máximo en la etapa *termofílica*. El movimiento del material por volteo hace descender la temperatura de la unidad, que paulatinamente vuelve a aumentar hasta completar una nueva etapa *termofílica*.

Tan importante es la mala aireación del proceso, por los posibles problemas de anaerobiosis, como el exceso de ventilación que puede ocasionar el enfriamiento de la masa y una alta



deseccación que ocasionaría la reducción de la actividad metabólica de los microorganismos, pérdida de calor y la volatilización del amoníaco. La insuficiente aireación provocará condiciones anaerobias, putrefacción, elementos tóxicos, lixiviados, malos olores, sustitución de los microorganismos por otros propios del proceso anaeróbico, produciendo la acumulación de ácidos orgánicos ya que estos en lugar de oxígeno utilizan nitratos ( $\text{NO}_3$ ), sulfatos y carbonatos para obtener energía produciendo  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CH}_4$  retardando el proceso de 4 a 6 meses.

## 5. Tamaño de partícula

La estructura física y el tamaño de los residuos que componen la masa a compostar influyen directamente en la optimización del proceso, afectando a la aireación, la temperatura y la duración del mismo. Conviene evitar condiciones extremas en el grado de división de los materiales. Para ello se recomienda reducir los residuos grandes mediante el uso de trituradoras y mezclarlos con materiales auxiliares de menor tamaño con el fin de obtener una estructura de porosidad adecuada para evitar la compactación de las unidades de compostaje y mejorar la capacidad de intercambio gaseoso.

Las dimensiones consideradas óptimas varían según los criterios de distintos autores: 1-5 cm (Haug, 1993), 2-5 cm (Kiehl, 1985), 2,5-2,7 (Tchobanoglous et al, 1996).

## 6. Relación carbono-nitrógeno

Expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene la materia orgánica. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica de los mismos. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes favorece un buen crecimiento y reproducción de los microorganismos. Éstos suelen utilizar aproximadamente 30 partes de C por cada parte de N, por ello se considera que una buena relación de ambos elementos para el desarrollo del compostaje debe estar entre 25-30 .

Es un indicador de la velocidad de descomposición y permite una determinación del tiempo de compostaje, siempre y cuando las condiciones de humedad, aireación y temperatura sean las óptimas.

Si la relación C/N es superior a 35, disminuye la actividad biológica, el proceso de fermentación se alarga hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a niveles que permiten un metabolismo adecuado. Si la relación C/N es muy baja, se pierde el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Si el material a compostar presenta una relación C/N inicial diferente al intervalo recomendado, es conveniente mezclar con otros materiales. Los residuos de origen vegetal presentan mayor relación C/N que los residuos de origen animal por lo que combinarlos es muy habitual.

## **6.2.- SISTEMAS DE COMPOSTAJE**

Existen diferentes sistemas de compostaje, siendo el objetivo de todos transformar los residuos en un material húmico estable y alcanzar las condiciones necesarias para eliminar los microorganismos patógenos, hongos, esporas, semillas y otros organismos indeseables en el producto final. De esta manera obtendremos un material estabilizado y con unas características que nos permitan aplicarlo al suelo y/o comercializarlo cumpliendo la normativa de fertilizantes, el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

Los sistemas de compostaje se diferencian por la forma de incorporación del aire, el control de la temperatura, la mezcla o el volteo del material y la duración del proceso. La selección del sistema, dependerá de las necesidades, los recursos disponibles y las condiciones ambientales, entre otros.

### **6.2.1.- SISTEMAS ABIERTOS**

Son los sistemas más tradicionales de compostaje y se aplican en zonas rurales y, en general, donde el terreno es abundante. Son de bajo coste y tecnología relativamente sencilla.

En estos sistemas de compostaje la masa de residuos se dispone como una pila o hilera. La altura ideal de una pila se determina por su capacidad para producir y mantener la temperatura necesaria y permitir que el oxígeno llegue al punto central de la masa de compostaje. Generalmente la altura varía entre 1 m y 3 m, con un ancho de hasta aproximadamente 4-5 m.

#### **1. Pilas o hileras volteadas**

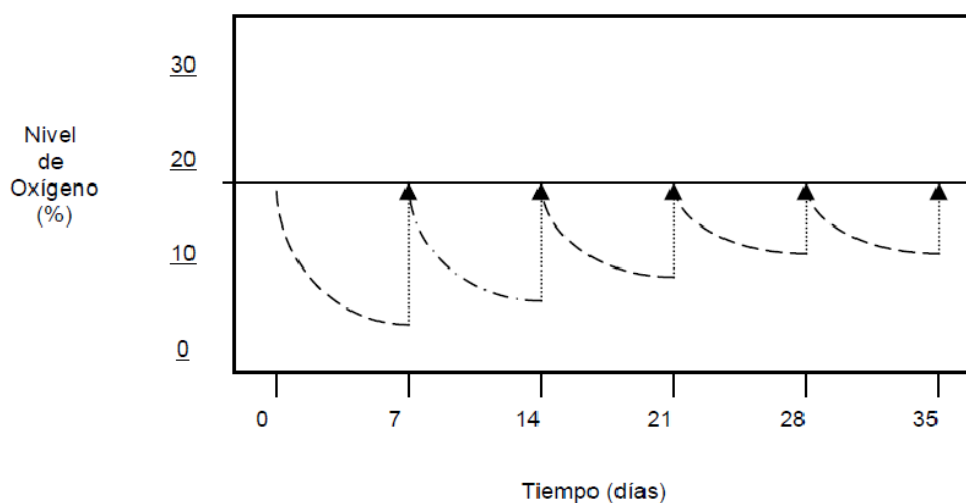
Es el sistema más generalizado, pero da lugar a un proceso lento ya que es un sistema discontinuo. Se basa en la formación de pilas, agrupando los residuos en montones que

generalmente adoptan forma triangular. Estas pilas necesitan una estructura porosa y estable durante el proceso de compostaje. Se utilizan para descomponer lentamente materiales como poda de árboles de hoja caduca, maleza, corteza, astillas y otros materiales voluminosos provenientes de la actividad agrícola y paisajística.

Es un método económico y fiable si se dispone de tiempo y espacio, y requiere un mínimo de atención. Se mezclan pilas de sección triangular o trapezoidal. Suelen tener de base entre 3 y 5 metros y de altura unos 2-2,5 metros. La longitud varía entre unos pocos y unas docenas de metros.

La principal desventaja de estos sistemas es la dificultad de mantener un nivel de oxígeno constante, ya que sufre fuertes oscilaciones dependiendo de la frecuencia de los volteos y en algunos casos puede caer por debajo del 8% O<sub>2</sub>. La frecuencia de los volteos depende del tipo de materiales a compostar, de la humedad y de la rapidez con la que se desea que se realice el proceso, por lo que se deben realizar controles automáticos de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento óptimo para efectuar el volteo.

Para la elección del tamaño de la pila ha de tenerse en cuenta la proporción de materiales fácilmente degradables presentes en el residuo y en la estructura, porosidad, del mismo. La primera marca la tasa de consumo de oxígeno una vez que el proceso esté en marcha y la segunda la capacidad de reposición de oxígeno a través de los poros del material en descomposición, así como la distribución del calor generado en la fermentación.



Fuente: Gasser, 1985

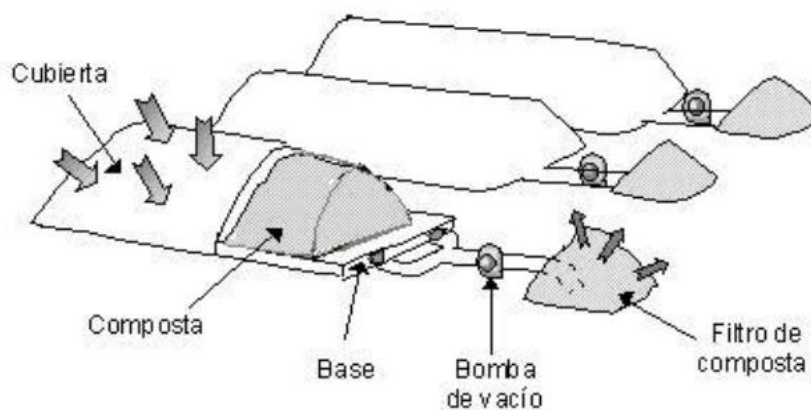
Figura 6.4.- Nivel de oxígeno durante el compostaje en una pila volteada semanalmente



Figura 6.5- Volteadora trabajando en campo

## 2. Pilas estáticas con aireación forzada

Este método fue desarrollado en los años sesenta en los Estados Unidos por primera vez por investigadores del Departamento de Agricultura, en Beltsville, Maryland. Se coloca el material a compostar en hileras sobre un conjunto de tubos perforados o una solera porosa. Un flujo de aire de  $0,2 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$  es suficiente para proveer de una concentración de oxígeno del 15% a un compost compuesto de lodo de depuradora y de virutas de madera. Para reducir los problemas de olor, el aire se puede pasar por una pila de compost maduro que actuará como filtro (Figura 5).



Fuente: Rynk et al., 1992

Figura 6.6.- Sistema de compostaje en pilas estáticas aireadas

La aireación forzada suministra  $O_2$ , enfría la pila y elimina vapor de agua  $CO_2$  y otros productos de descomposición. La pila no se moviliza hasta que la etapa del compostaje ha terminado.

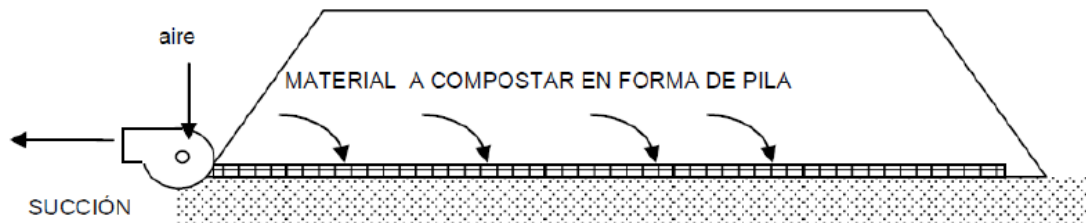


Figura 6.7.- Sistema de pila estática con aireación forzada por succión

Los componentes de una pila estática aireada incluyen una red de distribución de aire, una capa base de un material con elevada porosidad, el material a compostar, una capa externa de material estable (compost maduro) de 18-30 cm y un sistema de control y suministro de aire. Esta capa exterior aísla la tubería, separa las moscas y otros insectos del material a compostar y ayuda a retener olores, el  $NH_3$  y el agua.

La altura de las pilas oscila entre 3-4 m, estando limitada por el equipo que forma las pilas y por el peso de los materiales que se pueden compactar en la parte inferior y provocar problemas de aireación. La anchura y la longitud de son variables dependiendo de la configuración de la instalación.

### 3. Sistemas combinados

La combinación de la aireación forzada y el volteo mejora las condiciones y acelera el proceso de compostaje en comparación con los sistemas que solamente se voltean o airean con ventiladores.

#### 6.2.2.- SISTEMAS CERRADOS

Los residuos se procesan en instalaciones *estáticas o dinámicas*, que se conocen como reactores. Estos sistemas van desde recipientes simples hasta sistemas muy complejos que combinan agitación mecánica y aireación forzada. Los materiales son introducidos en un recipiente o contenedor diseñado a tal fin, en el cual se desarrolla la fase activa o termófila del proceso. Pueden ser *verticales u horizontales*, los horizontales a su vez pueden configurarse en canales,

celdas, containers o túneles, y según incorporen funciones de mezclado, ser estáticos o dinámicos.

Son estructuras por lo general metálicas, de forma cilíndrica o rectangular, donde se mantienen controlados determinados parámetros: la humedad, la aireación, la temperatura, etc. Este tipo de sistemas permite acelerar las etapas iniciales del proceso, aquellas que son biológicamente activas que se incluyen dentro de la fase de fermentación. Cuando estas etapas finalizan, el material se retira del reactor y se acopia para que se cumpla la maduración al aire libre o en naves abiertas. Los sistemas de compostaje en reactores, en general, son sistemas industriales y sus costes son elevados. En todos ellos se dispone de un sistema de depuración de olores mediante biofiltro de compost y una recirculación de los lixiviados.

Una de las ventajas de estos sistemas es que reducen considerablemente las superficies de compostaje y logran un mejor control de los parámetros de fermentación y de los olores. Aunque requieren costes de instalación superiores a los sistemas abiertos, presentan la ventaja de ser más rápidos.

## 1. Reactores de flujo vertical

### Reactores verticales continuos

El material a compostar se encuentra en forma de masa única. Están formados por reactores de 4-10 m de altura, con un volumen total de 1.000 a 3.000 m<sup>3</sup>. El biorreactor consta de un cilindro cerrado, aislado térmicamente, que en su parte inferior posee un sistema de aireación y extracción de material. El material se introduce por la parte superior mediante un tornillo alimentador. A medida que se va extrayendo el material compostado, el material fresco va descendiendo. El control de la aireación se realiza por la temperatura y las características de los gases de salida. En la parte superior se encuentra el mecanismo mediante el cual se pueden filtrar los gases con malos olores.

El tiempo de residencia se estima en 14 días, tras los cuales el compost estará estabilizado. Estos sistemas minimizan el área requerida y pueden no incluir un mecanismo de volteo. Su principal inconveniente es el elevado coste de construcción en relación a las pilas estáticas, pero presenta una baja relación coste por unidad de volumen de trabajo.

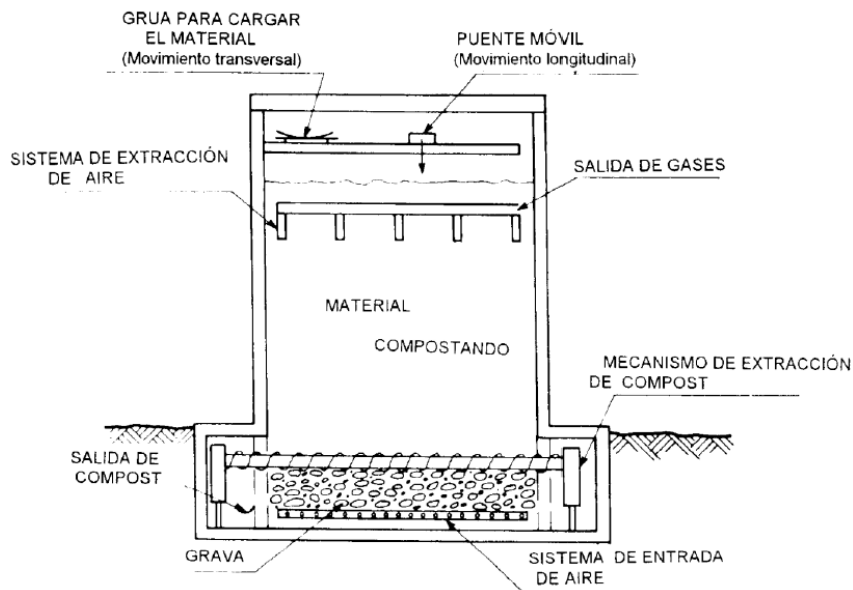


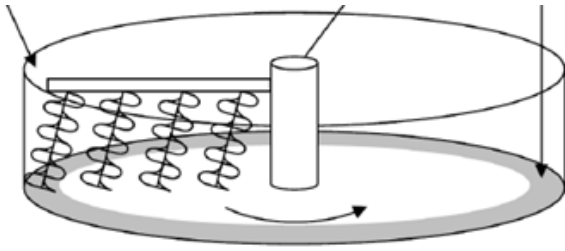
Figura 6.8.- Reactor de lecho empacado tipo silo Fuente: Saña y Soliva, 198

### Reactores verticales discontinuos

Constan de un depósito cilíndrico de grandes dimensiones dividido en varios niveles (cada nivel tiene de 2 a 3 m de altura). , con un sistema de aireación forzada. Los residuos a compostar se colocan en el piso más alto y mediante dispositivos mecánicos se voltean a la vez que van descendiendo al piso inferior

La humedad requerida para llevar a cabo el proceso se consigue bien por evaporación del agua del material situado en los niveles inferiores, la cual se encuentra a una mayor temperatura, bien mediante de sistemas de suministro de agua. Cuando la materia orgánica ha descendido al último piso se da por concluida la fermentación y el compost está preparado para la fase de maduración. El tiempo en el fermentador es de una semana aproximadamente. El inconveniente de este tipo de reactores es el elevado coste de instalación y de mantenimiento de la planta.

**Reactor circular:** presentan un diámetro de 6 a 36 metros y una altura de 2 a 3 metros. El material a compostar se introduce por la parte superior del reactor, la aireación se realiza por la parte inferior y la masa se voltea mediante un brazo giratorio. La salida del material se realiza por el centro de la base. El tiempo de residencia en el reactor es de 10 días.

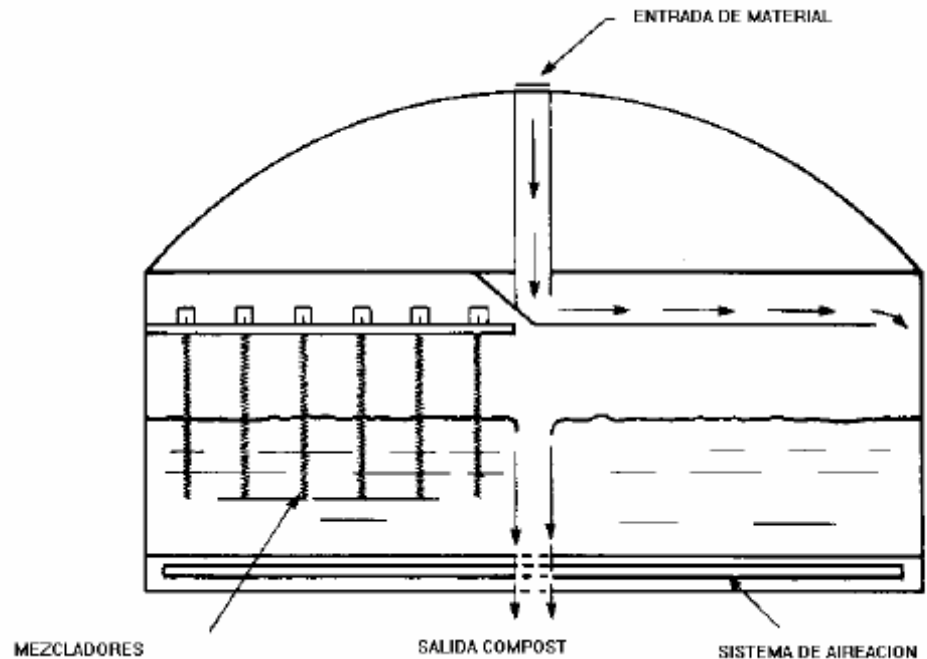


Fuente: Haug, 1993

Figura 6.9.- Reactor circular de lecho agitado

Fuente: Saña y Soliva, 1987

Figura 6.10.- Reactor circular dinámico



### Compostaje en cajones (Bin composting)

Es el sistema más simple dentro de los denominados sistemas tipo tanque (In-Vessel systems) y se utilizan de forma doméstica. Al estar cubiertos, resuelven el problema de exceso de agua por lluvias o nevadas, contienen los olores y permiten el control de la temperatura. Pueden funcionar como una pila estática aireada, incluyendo alguna forma de aireación, o disponer de un mecanismo de volteo.



Figura 6.11.- Ejemplos de compostaje tipo "cajón"



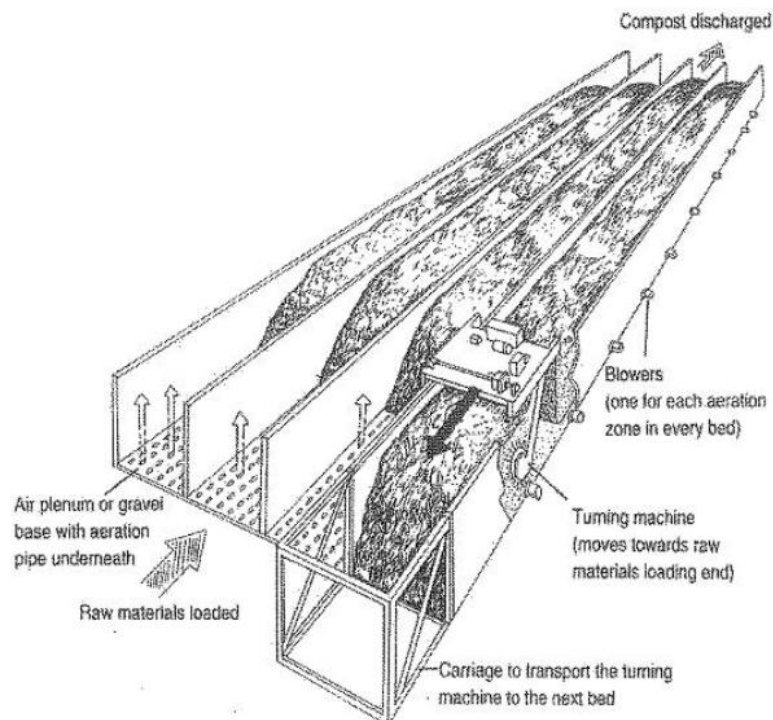
## 2. Reactores horizontales

Se dividen entre aquellos que poseen un depósito rotatorio, los que poseen un depósito de geometría variable con un dispositivo de agitación o los que no poseen un sistema de agitación y permanecen estáticos.

### Canales rectangulares de agitación (Trincheras)

Se combina la aireación controlada y los volteos periódicos, además de poder incluir un sistema de riego. Frecuentemente se instalan bajo techo.

El compostaje se produce entre paredes que forman largos canales rectangulares o trincheras, cuyas dimensiones son 2-6 m de ancho, 1-3 m de profundidad y 30 m o más de largo. Estos canales adosado un sistema de volteo que se desplaza mediante rieles ubicados en la zona superior de las paredes. La aireación normalmente se proporciona mediante un sistema de cañerías ubicadas en la base de los canales. Pueden operarse de manera continua o en lotes. El tiempo estimado para el compostaje en estos sistemas va de 2 a 4 semanas más un tiempo de maduración



Fuente: Rynk et al., 1992

Figura 6.12.- Sistema de compostaje en canales o trincheras

### Tambores rotativos

Permiten el mezclado, aireación y movimiento del material a lo largo del sistema. Normalmente no incluyen un mecanismo de aireación forzado, pero sí mecanismos de control del oxígeno y humedad. El aire se introduce por el extremo del reactor por el cual se descarga el material estabilizado. También pueden incluir un mecanismo de riego.

Las dimensiones de los reactores oscilan entre 30-45 m de longitud y 2-4 m de diámetro. El tiempo de residencia está determinado por la inclinación del tambor y la velocidad de giro del mismo. Un tambor preparado para una carga diaria de 50 t (3 m de diámetro y 36 m de largo) tiene un tiempo de residencia aproximado de 3 días, tras el cual debe completar el proceso en la etapa de maduración. Estos sistemas pueden adaptarse para funcionar a una menor escala, reciclando equipos como mezcladores de cemento, mezcladores de piensos o viejos hornos de cemento. Últimamente se han desarrollado modelos aplicables al compostaje en el hogar o jardines residenciales

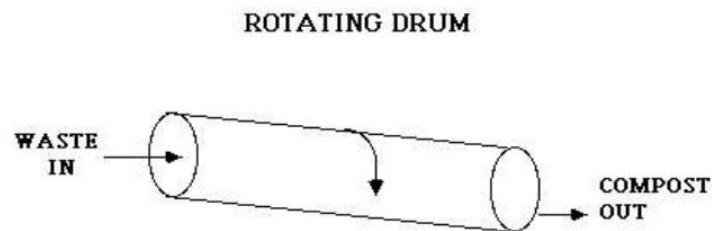
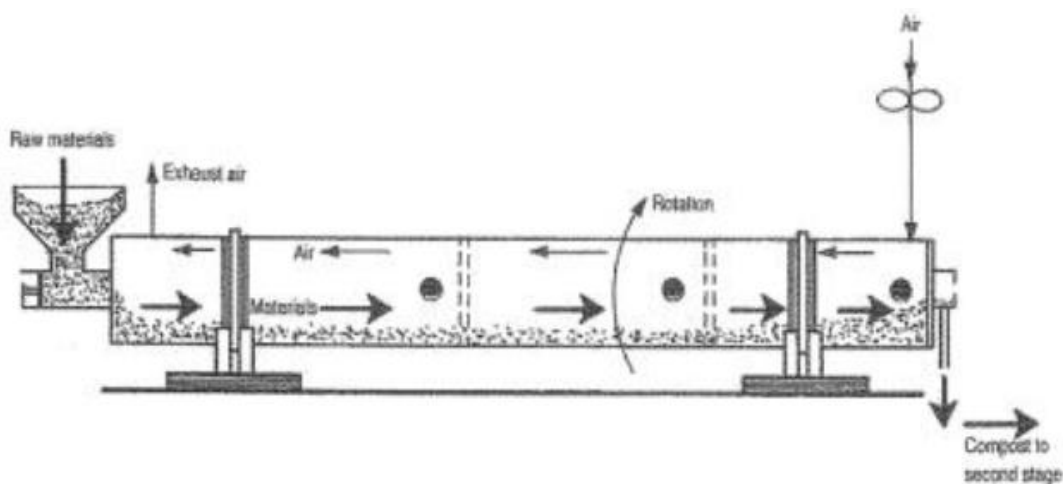


Figura 6.13.- Tambor rotativo

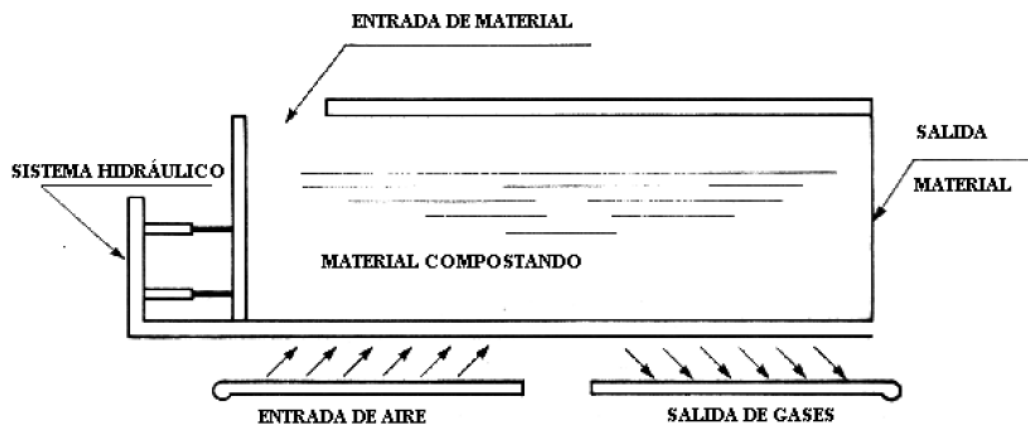


Fuente: Rynk et al., 1992

Figura 6.14.- Esquema de compostaje en tambores rotativos

### Contenedores con lecho de sólidos estático

Se trata de un túnel de flujo pistón de sección transversal rectangular. El volumen del reactor puede oscilar entre 10 y 500 m<sup>3</sup>. Se construyen generalmente de hormigón armado y acero. Los túneles suelen tener una longitud de 30 a 59 metros y una anchura y altura de 4 a 6 metros. La ventilación es controlada por impulsión o aspiración. En un extremo se sitúa una placa de empuje con movimiento hacia adelante y hacia atrás. Al avanzar dicha placa, el compost se descarga del túnel; la carga diaria de residuos a compostar se coloca en la zona vacía creada al moverse el pistón.



Fuente: Saña, 1987

Figura 6.15.- Reactor tipo túnel

### Túneles estáticos

Se trata de recipientes rectangulares con una capacidad volumétrica que varía entre 20 y 40 m<sup>3</sup>. Frecuentemente se instalan en módulos, con los cuales se puede dar tratamiento a 3000 – 5000 t/año (configuración de 6 a 8 contenedores en módulo). La aireación es forzada desde la base del contenedor y después de atravesar la masa el compostaje es recolectado y tratado en filtros. Cuentan con un sistema de riego, y en caso de exceso de humedad, ésta es removida por gravedad mediante perforaciones en la base del contenedor. El tratamiento típico se realiza por lotes, siendo el tiempo de residencia de 8-15 días, seguido por un período de maduración.



Figura 6.16.- Compostaje en contenedores a gran escala

## 7.- BIOMETANIZACIÓN

### 7.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

#### 7.1.1.- Concepto de biometanización

Es un proceso microbiológico de digestión anaerobia que consiste en la degradación biológica, en ausencia de aire, de un material orgánico complejo, dando como productos finales un biogás, compuesto fundamentalmente por metano y dióxido de carbono, y un residuo con una menor concentración en sólidos volátiles u orgánicos.

La digestión anaerobia ha sido considerada, como un proceso difícilmente controlable y sujeto a posibles distorsiones. No obstante, existen ventajas que convierten el proceso en una tecnología muy competitiva:

#### Proceso

- Elevados porcentajes de eliminación de materia volátil (40-60%)
- Elevada destrucción de organismos patógenos y organismos parásitos: también produce la inactivación de algunos virus patógenos, según el tipo de éste, del proceso de depuración y de la temperatura
- Baja producción y estabilización de lodos
- Alto grado de estabilización del vertido trabajando con altas velocidades de carga



### **Producto final**

- Baja generación total de sólidos biológicos: el producto final posee características similares al compost producido aeróbicamente. Además, el producto final es inerte y rico en ciertos nutrientes y puede emplearse en agricultura como mejorador de suelo.
- Eliminación de ácidos volátiles y otros compuestos fácilmente biodegradables, que contribuyen a disminuir la fitotoxicidad del residuo final
- Buenas condiciones de deshidratación mediante un proceso de secado

### **Energía**

- Alta producción de biogás compuesto fundamentalmente por  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$
- Obtención de biogás susceptible de aprovechamiento energético y económico
- Bajo consumo energético: la alta producción de biogás con elevado valor energético reduce significativamente los costes del tratamiento
- Reducción de la emisión de gases responsables por del efecto invernadero

El proceso de biometanización requiere la actividad metabólica combinada y coordinada de un conjunto de poblaciones microbiológicas en el reactor y puede ser resumida en cuatro siguientes fases: hidrólisis, fermentación acidogénica o acidogénesis, fermentación acetogénica o acetogénesis y fermentación metanogénica.

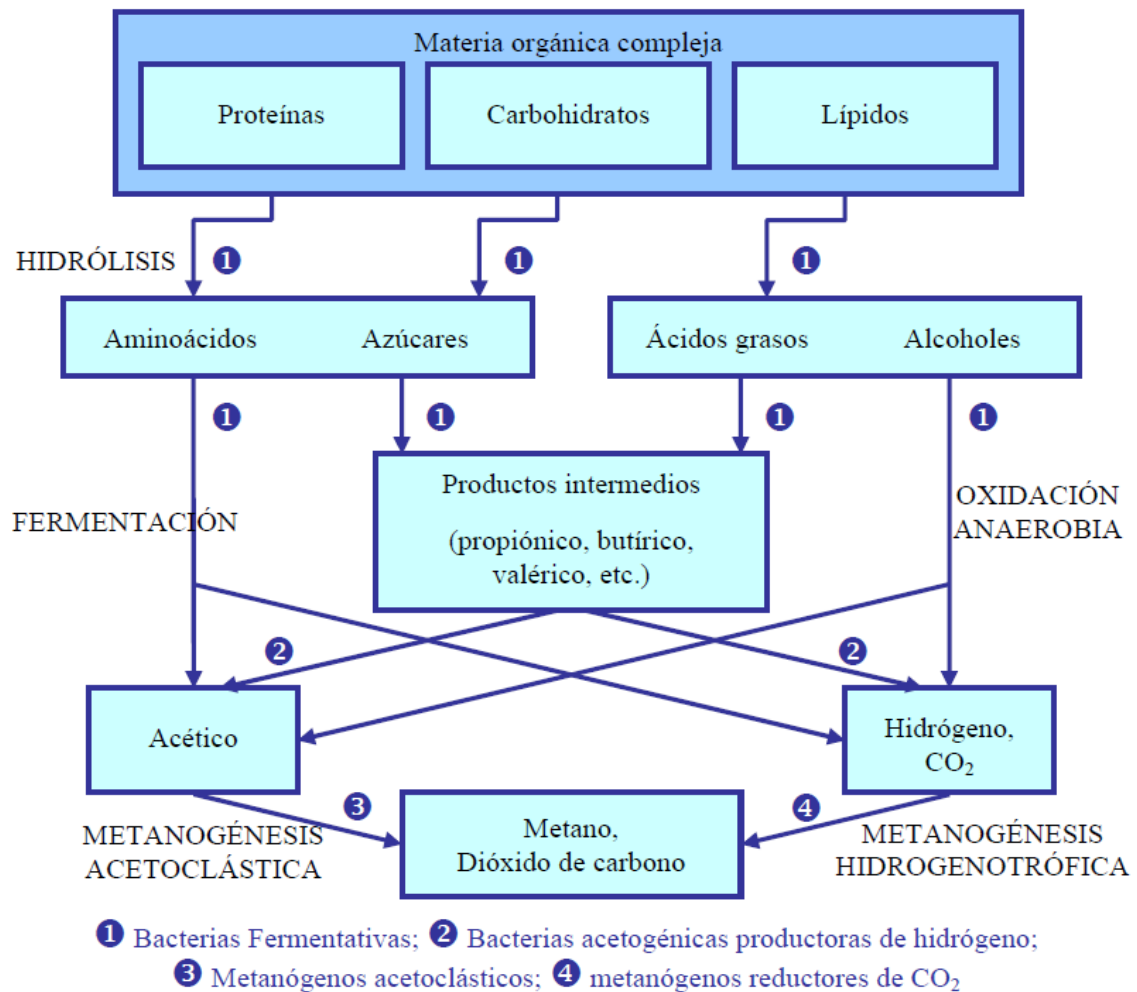


Figura 7.1.- Esquema de reacciones de la digestión anaerobia Fuente: Massé y Droste, 2000

### 7.1.2.- Factores que intervienen en el proceso

La digestión anaerobia requiere del estricto control de factores ambientales y operacionales que condicionan el desarrollo de las poblaciones microbianas presentes en el proceso.

#### 1. Temperatura

La digestión anaerobia puede desarrollarse en un amplio rango de temperaturas: entre los 10°C y los 70°C . La temperatura tiene una gran influencia en las velocidades de degradación y en los rendimientos del proceso y particularmente en la metanogénesis. Así, se han identificado dos rangos de máxima actividad: el mesófilo, que opera entre 30°C y 40°C, y el termófilo, entre 45°C y

60°C. En cada uno de ellos predominan grupos distintos de bacterias, siendo las bacterias termofílicas más sensibles a las variaciones térmicas con lo que requieren un control del sistema más preciso y costoso.

Las plantas de digestión en el régimen termófilo son menos numerosas y su implantación ha comenzado más tarde, aunque es previsible un crecimiento parejo de los tratamientos mesófilos y termófilos dado que, aunque las necesidades de calor de los procesos termófilos son mayores, los mejores rendimientos en la obtención de biogás, la destrucción de sólidos volátiles y la eliminación más eficaz de patógenos favorecen su demanda.

## 2. pH y alcalinidad

La acidez del medio tiene una influencia acusada sobre la producción de biogás debido, fundamentalmente, a su efecto sobre la actividad enzimática de los microorganismos y a su influencia sobre varios equilibrios químicos como el  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ . El rango óptimo de pH se encuentra entre el 6,7 y el 7,6, y se presentan problemas graves cuando se sale del rango 6-8,3.

Cuando se detectan fuertes variaciones de pH, el sistema ya ha fracasado irreversiblemente, por lo que no se considera al pH como una buena variable de control del proceso.

## 3. Contenido de nutrientes

Aunque los tratamientos anaeróbicos se caracterizan por sus bajos requerimientos de nutrientes; una proporción adecuada de nitrógeno y fósforo es necesaria para el crecimiento de la población bacteriana.

Algunos autores señalan que la proporción C/N debe oscilar entre 15-30/1 y de C/P de 75- 113/1; valores muy inferiores disminuyen la velocidad de reacción y superiores crean problemas de inhibición del proceso biológico. Otros nutrientes que se requieren en cantidades mínimas son el sulfuro, cobalto, níquel, molibdeno, selenio, riboflavina y vitamina B12.

## 4. Presencia de sustancias tóxicas e inhibidores

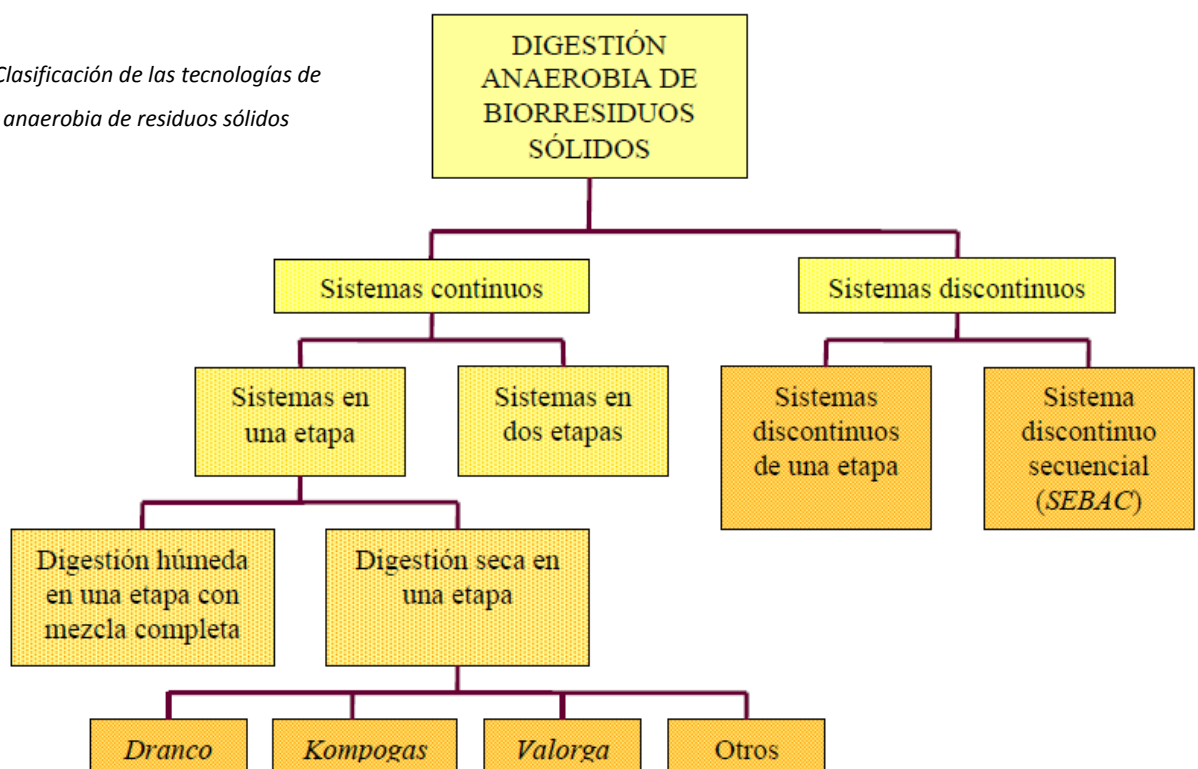
La principal sustancia tóxica de la digestión anaerobia es el oxígeno. Los microorganismos metanogénicos se encuentran entre los más estrictamente anaerobios que se conocen: 0,01 ppm

de oxígeno inhiben completamente su crecimiento. El resto de inhibidores más frecuentes son el  $\text{NH}_3$  libre, los ácidos grasos y el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Algunas sustancias que pueden acompañar a los residuos (disolventes, pesticidas, etc.) pueden ser tóxicas para el proceso.

## 5. Tiempo de retención y Nivel de carga

### 7.2.- tecnologías existentes

Figura 7.2.- Clasificación de las tecnologías de digestión anaerobia de residuos sólidos



#### 7.2.1.- Sistemas en una etapa

El 90% de las plantas de digestión anaerobia en Europa son de una etapa y éstas se dividen, aproximadamente, en partes iguales entre sistemas húmedo y seco

La digestión húmeda en una etapa con mezcla completa es una tecnología muy extendida y bien conocida desde hace décadas debido a su aplicación para la estabilización de biosólidos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.



Los sistemas secos demostraron, mediante investigaciones desarrolladas en la década de los 80, que podían proporcionar producciones de biogás tan altas como los sistemas húmedos. Desde un punto de vista económico el transporte en los sistemas secos requiere equipos más robustos y caros que los líquidos (que utilizan principalmente bombas centrífugas), como cintas transportadoras, tornillos y bombas diseñadas especialmente para el trasiego de materiales altamente viscosos. Sin embargo, las necesidades de pretratamiento son menores, siendo necesaria sólo la eliminación de impurezas gruesas con cribas de tambor o desmenuzadoras.

Los sistemas secos en una etapa, contrariamente a los húmedos, no son de mezcla completa debido a las propiedades reológicas del residuo, sino de flujo sin mezcla. El uso de este flujo tiene la ventaja de no necesitar la instalación de dispositivos mecánicos dentro del reactor. Sin embargo, no soluciona la necesidad de mezclar el material de entrada con la masa que está siendo digerida, lo cual es crucial para garantizar la inoculación y para prevenir sobrecargas locales y la acidificación.

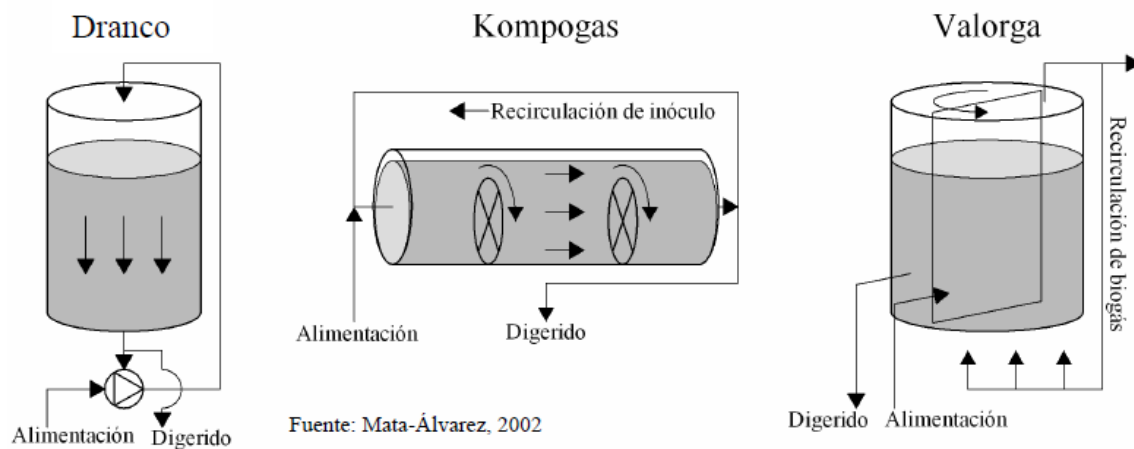


Figura 7.3.- Tipos de digestor empleados en la digestión anaerobia

El principal factor limitante que condiciona el rendimiento biológico de los reactores en los sistemas húmedos con mezcla completa es la acumulación de sustancias inhibitoras como los ácidos grasos y el amoníaco. Este factor puede controlarse añadiendo agua al proceso para reducir las concentraciones de inhibidores, lo cual no es posible en los sistemas secos. Los sistemas secos han demostrado ser menos sensibles a la inhibición que los húmedos. La robustez de estos sistemas no está completamente explicada, pero se especula que los microorganismos

presentes en el medio de fermentación seca están protegidos frente a las altas concentraciones transitorias de inhibidores (cosa que no ocurre en reactores con mezcla completa). Las producciones de metano y la destrucción de SV de los sistemas secos referidos son parecidas a los de los sistemas húmedos.

Las necesidades de calefacción de los sistemas secos son menores, pero esto sólo se traduce en un beneficio económico si se encuentra aplicación al exceso de calor de los motores de gas raramente se vende. Aproximadamente el 30% de la electricidad producida se emplea en la propia planta tanto en los sistemas secos como en los húmedos

Desde un punto de vista medioambiental, el consumo de agua es unas 10 veces mayor en los sistemas húmedos respecto a los secos, y otro tanto ocurre con las aguas residuales generadas

### **7.2.2.- Sistemas en dos etapas**

Se fundamentan en que las reacciones bioquímicas que conducen a la conversión del biorresiduo en biogás no comparten necesariamente las mismas condiciones ambientales óptimas. Las reacciones se optimizan en distintos reactores para mejorar el proceso en conjunto y la producción de biogás.

De forma general, la primera etapa acoge las reacciones de licuefacción y acidificación (hidrólisis y acidogénesis), mientras en la segunda transcurre la metanogénesis, donde el factor limitante es la baja tasa de crecimiento microbiano. La complejidad técnica de los sistemas de dos etapas es mayor que la de una etapa, pero esto no siempre se traduce en los rendimientos esperados.

La principal ventaja de los sistemas de dos etapas respecto a los de una, más que un mejor rendimiento global, es una mayor seguridad frente a los residuos que causan inestabilidades en los sistemas de una etapa.

### **7.2.3.- Sistemas discontinuos**

Los digestores se cargan una vez con el residuo fresco y se le hace pasar por las fases de degradación secuencialmente en un régimen seco. A pesar de su similitud con la extracción de gas de vertederos, estos sistemas tienen producciones 50 a 100 veces mayores que aquellos debido básicamente a dos características:

- El lixiviado se recircula continuamente, lo cual permite la dispersión de humedad, inóculo, nutrientes y ácidos. Esta recirculación equivale a una mezcla parcial
- El proceso transcurre a temperaturas más altas que las de los vertederos.

Hasta hoy los sistemas discontinuos no han tenido un éxito comercial significativo. Sin embargo, características tales como su sencillez de diseño y de control del proceso, su robustez frente a gruesos y contaminantes y sus bajos costes de inversión, los hacen atractivos especialmente en zonas poco desarrolladas

Hay dos diseños básicos que difieren en los lugares donde transcurren la acidogénesis y la metanogénesis: sistema discontinuo de una etapa y sistema discontinuo secuencial SEBAC (sequential batch anaerobic composting)

En el sistema discontinuo de una etapa, el lixiviado es recirculado hacia la parte superior del mismo reactor donde se ha producido. Éste es el fundamento del proceso Biocel. Un inconveniente que se presenta frecuentemente en éste y otros sistemas por lotes es el taponamiento del suelo perforado, que provoca la interrupción del proceso de percolación. Para prevenir este problema se limita el espesor de la capa de biorresiduos en cuatro metros, reduciéndose así la compactación, y mezclando el material de entrada con estructurante y con material digerido y deshidratado.

En el sistema discontinuo secuencial SEBAC, el lixiviado de un reactor recién cargado o “fresco” (que tiene un alto contenido en ácidos orgánicos) se recircula hacia un reactor más “maduro”, donde tiene lugar la metanogénesis. El lixiviado del reactor “maduro”, libre de ácidos y con propiedades de tampón, se bombea hacia el reactor “fresco”. Esta configuración asegura la inoculación entre los reactores y elimina la necesidad de mezclar el sustrato con material digerido.

Las plantas que utilizan sistemas discontinuos tienen producciones de biogás menores que los sistemas de una fase y alimentación continua. Las causas de esta diferencia son principalmente la formación de canales preferentes en la circulación del lixiviado y el ya mencionado taponamiento. Desde el punto de vista económico, la inversión en los sistemas discontinuos es baja (cerca de un 40% respecto a los sistemas de alimentación continua). En contrapartida, la limitación en altura necesaria para evitar la compactación hace que se necesiten grandes superficies para las instalaciones (10 veces más por tonelada tratada respecto a los sistemas secos continuos).

En sistemas discontinuos hay riesgo de explosión durante la apertura y vaciado de los reactores, por lo que requieren fuertes medidas de seguridad.

Criterio	Sistemas secos de una etapa		Sistemas discontinuos	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin partes móviles en el reactor</li> <li>• Robustos (no hay que quitar inertes y plásticos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se pueden tratar residuos húmedos solos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples</li> <li>• Robustos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de obstrucción</li> <li>• Es necesario agente estructurante</li> <li>• Riesgo de explosión en el vaciado</li> </ul>
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor pérdida de SV en pretratamientos</li> <li>• Resistencia frente a aumentos transitorios de inhibidores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se pueden diluir los inhibidores con agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema fiable debido a nichos y uso de varios reactores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja producción de biogás (canales preferentes)</li> <li>• Baja carga orgánica</li> </ul>
Económico y ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pretratamientos baratos y reactores pequeños</li> <li>• Poco uso de agua y poca generación de agua residual</li> <li>• Menos necesidades de calefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos más robustos y caros que sistemas húmedos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo coste de inversión</li> <li>• Poco uso de agua y poca generación de agua residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de grandes superficies (comparable a compostaje)</li> </ul>

Fuente: Mata-Álvarez, 2002

Tabla 7.1.- Ventajas/Desventajas de los sistemas de tratamiento continuo y discontinuo

## **8.- VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RSU**

### **8.1.- INTRODUCCIÓN**

La incineración de los RSU es un proceso cuya finalidad es la transformación de los residuos combustibles en residuos inertes, con una reducción muy importante de peso y volumen, mediante la combustión a elevadas temperaturas, mezclados con una cantidad apropiada de aire durante un tiempo predeterminado en una planta de incineración. Disminuye la cantidad de residuos en la disposición final, proporciona calor utilizable para otros procesos (calefacción, producción de electricidad) desintoxica y descontamina.

Ha tenido un gran auge, comenzando en la década de los sesenta. En los países del norte y centro de Europa y en los Estados Unidos el número de realizaciones es muy elevado, debido fundamentalmente al elevadísimo porcentaje de residuos combustibles presentes en sus residuos domésticos. Hacia 1970 todas las plantas de incineración eran autosuficientes energéticamente y la tendencia actual es la de producir, en los casos en que sea rentable, energía vendible para disminuir los costes de la explotación.

La incineración, exige control estricto de la temperatura y de la emisión de partículas de gases, requiere de mano de obra calificada y presenta problemas de operativa debido a las composición variable de los residuos. La incineración de productos peligrosos como los hospitalarios o algunos residuos de origen industrial requiere de especial atención respecto a las emisiones de gases.

Las incineradoras además de emitir CO<sub>2</sub>, debido a la variada composición química de los diversos materiales que entran en los hornos se forman sustancias de alta toxicidad. Además de gases ácidos y metales pesados, se emiten contaminantes orgánicos persistentes (COP) como las dioxinas, los furanos, los PCB y el hexaclorobenceno que poseen un carácter extremadamente peligroso para la salud por su potencial bioacumulativo y su carácter de disruptor hormonal.

La presencia de estos contaminantes se produce no sólo en las emisiones atmosféricas sino también en las cenizas resultantes del proceso de combustión. Las cenizas pueden ser de fondo en la base del horno y volantes que quedan atrapadas en los filtros y en las llamadas emisiones fugitivas de la chimenea. Los contaminantes orgánicos atrapados en estas cenizas son difíciles de gestionar y necesitan transportarse y depositarse adecuadamente en vertederos especiales para residuos peligrosos.

## 8.2.- LA COMBUSTIÓN DE LOS RSU

El estudio de la combustión de los RSU plantea como principal dificultad el de su heterogeneidad:

- Heterogeneidad dimensional, provocada por el muy distinto tamaño de los residuos. Afecta fundamentalmente a los elementos de maniobra de los residuos, dentro y fuera del horno de combustión. Puede reducirse utilizando una trituración previa.
- Heterogeneidad en la densidad, que provoca tiempos de combustión desiguales y grandes dificultades para obtener una mezcla íntima aire-combustible. Puede mejorarse con una trituración previa.
- Heterogeneidad en la composición, hace variar las calorías producidas en la combustión, siendo necesario variar la cantidad de aire necesario para adaptarse a esta circunstancia.

Esta heterogeneidad hace que sea imposible un estudio teórico de la combustión de los RSU, y que deba procederse al estudio de muestras de los residuos reales que permitan conocer las características del “combustible” necesarias para el cálculo de las instalaciones. Estas características son, básicamente, la composición y el poder calorífico interno.

### 8.2.1.- Determinación del poder calorífico interno de los RSU

Se define como poder calorífico de un combustible la cantidad de calor desprendida por la combustión completa de la unidad de masa. El combustible y el comburente se toman a una temperatura y presión dadas, generalmente los volúmenes y las densidades se refieren a 0 °C y una atmósfera de presión. El PCI representa un índice de la capacidad de autocombustión de los residuos. Para un PCI menor de 1000 kcal/kg la incineración sin aporte de energía exterior es sumamente problemática.

#### **Determinación mediante métodos directos**

Reconstitución del PCI por muestreo: se realiza la extracción de una muestra y se clasifican en sus constituyentes elementales con un nivel de detalle elevado. Conocidos los porcentajes de estos constituyentes basta considerar el PCI resultante como la media ponderada de los PCI de cada componente

Medida directa con la bomba calorimétrica

### Determinación mediante métodos indirectos

Basado en el establecimiento del balance térmico global de una instalación industrial. Utilizando la medida de la energía recuperada y evaluando las diferentes pérdidas es posible, conociendo la cantidad total de basuras incineradas:

$$PCI = \frac{\text{Calor recuperado} + \text{Pérdidas}}{\text{Cantidad de RSU incinerados}}$$

Las pérdidas a medir, o evaluar, son: el calor arrastrado por los humos, escorias y el calor perdido por radiación a través de las paredes. Este método es de difícil realización, pero sus resultados son los más significativos del funcionamiento real del horno y del PCI a considerar en los RSU.

#### 8.2.2.- Relación entre el PCI y la cantidad de aire necesaria para efectuar la combustión completa de un combustible

Depende de su composición química, la cual no se conoce a priori. Por ello para determinar el volumen de aire necesario se utilizan fórmulas estadísticas. Estas fórmulas son válidas solo para la incineración de residuos domésticos y permiten establecer una correlación con el PCI.

Son usuales la fórmula de Rosin, que expresa  $V_a$  como:

$$V_a = 1.01 \frac{PCI}{1000} + 0.5$$

y la de Verón:

$$V_a = \frac{PCI}{1000}$$

estando el volumen de aire en  $Nm^3$  y el PCI en kcal/kg.

Las dos fórmulas anteriores no consideran el contenido en agua del combustible, por lo que es necesario corregirlas para tener en cuenta el contenido en agua, con lo que se obtiene la ecuación siguiente:

$$V_a = 1.06 \frac{PCI}{1000} + 0.625 H$$

donde H es el % de humedad.

### 8.2.3.- Relación entre el PCI y los gases producidos en la combustión

La situación es idéntica a la indicada en el apartado anterior, por lo que se recurre a la utilización de fórmulas estadísticas como la de Rosin y Fehling:

$$V_g = 0.98 \frac{\text{PCI}}{1000} + 1.65$$

o la de Verón:

$$V_g = \frac{\text{PCI}}{850}$$

estando el volumen de gases en Nm<sup>3</sup> y el PCI en kcal/kg.

Las fórmulas anteriores no consideran el posible vapor de agua formada a partir del agua contenida en los residuos domésticos por lo que es necesario efectuar una corrección que queda reflejada en la ecuación siguiente:

$$V_g = \frac{\text{PCI}}{900} + 1.87 H$$

### 8.2.4.- Determinación del exceso de aire

La introducción de aire en exceso sobre el necesario para la combustión asegura la combustión completa de los residuos y limitar la temperatura de los gases en la cámara de combustión a un valor inferior a 1000 °C para evitar la fusión de escorias y cenizas.

Si se desprecian las pérdidas de calor por radiación, materiales combustibles no quemados y calor acumulado en escorias y cenizas, debe cumplirse que:

$$\text{PCI} = (V_g C_{pg} + V_{ae} C_{pa}) T$$

donde:

$V_g$  = Volumen de gases en Nm<sup>3</sup> producidos por la combustión, sin exceso de aire, de 1 kg de residuos domésticos.

$V_{ae}$  = Volumen de aire en exceso medido en Nm<sup>3</sup>.

$C_{pg}$  = Calor volúmico de calentamiento a presión constante de los gases de combustión entre 0 y T °C en kcal/Nm<sup>3</sup>/°C.



$C_{pa}$  = Calor volúmico de calentamiento a presión constante del aire entre 0 y  $T^{\circ}$  C en kcal/Nm<sup>3</sup>/°C.

$T$  = Temperatura media de los gases en la cámara de combustión. Un valor usual es el de 950°

De acuerdo con lo anterior, el volumen de aire en exceso tiene la expresión:

$$V_{ae} = \frac{PCI - V_g C_{pg} T}{C_{pa} T}$$

Obteniéndose el porcentaje de aire en exceso mediante la expresión:

$$e (\%) = \frac{V_{ae}}{V_a} 100$$

donde los valores de  $V_{ae}$  y  $V_a$  se han determinado anteriormente.

El volumen de aire está sobrestimado, debido a que se han despreciado las pérdidas. En una instalación sin recuperación de calor, lo anterior no tiene gran trascendencia, siendo normal un exceso de aire sobre el necesario para la combustión del 150 %. En instalaciones con recuperación de calor, si la cámara de combustión lleva pantallas de agua, no es posible despreciar las pérdidas por radiación, disminuyendo por tanto el aire en exceso, que suele situarse en este caso alrededor del 80 % sobre el aire en exceso calculado según la expresión ya indicada:

$$V_g = \frac{PCI}{900} + 1.87 H$$

### 8.2.5.- Determinación del volumen de humos producidos en la combustión

El volumen total de humos es la suma del volumen de gases,  $V_g$ , y del volumen de aire en exceso,  $V_{ae}$ , es decir, si se utilizan algunas de las fórmulas anteriores:

$$V_h = V_{ae} + V_g = \frac{PCI}{C_{pa} T} - V_g \frac{C_{pg}}{C_{pa}} + V_g$$

expresión que puede aproximarse, teniendo en cuenta que  $C_{pa} \cong C_{pg}$ , por:

$$V_h = \frac{PCI}{C_{pa} T} \cong \frac{PCI}{318} \cong 3 \frac{PCI}{1000} \quad (\text{para } T=950^{\circ}\text{C})$$

Se obtiene una mayor aproximación si se consideran los distintos porcentajes de agua presentes en los residuos domésticos que afectan al valor de  $V_g$ , estando los resultados, considerando  $T = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$V_h = \frac{\text{PCI}}{C_{pa} T} - \left( \frac{C_{pg}}{C_{pa}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{\text{PCI}}{900} + 1.87 H \right)$$

### 8.2.6.- Refrigeración de los humos de combustión

En condiciones adecuadas de funcionamiento, los humos a la salida de la cámara de combustión tienen una temperatura de 900 a 1000 °C. la cual hay que rebajar al menos a 300 °C para evitar que los equipos de depuración del polvo de los humos queden fuera de servicio.

Si la instalación tiene prevista la recuperación del calor generado se produce directamente la refrigeración de los humos. En instalaciones sin recuperación de calor es necesario efectuar una refrigeración por dilución de los humos de combustión en un fluido a temperatura inferior.

Refrigeración mixta: surge para paliar los inconvenientes de la refrigeración por aire y por agua:

1) Inconvenientes de la refrigeración por aire:

- Volumen y masa de humos a tratar muy importantes, que obliga a disponer de grandes instalaciones de eliminación de polvos, chimeneas, ventiladores, etc.
- Humos demasiado secos para la utilización de electrofiltros en el desempolvado.

2) Inconvenientes de la refrigeración por agua:

- Coste del agua.
- Elevado coste de mantenimiento debido a las corrosiones.
- Humos demasiado húmedos para el desempolvado con electrofiltro o mediante sistemas mecánicos.
- Penacho de vapor visible en la chimenea.

La refrigeración mixta aire-agua se realiza en dos fases:

1. Refrigeración por aire desde 950º a 600º C.
2. Refrigeración por agua desde 600º a 300º C. Permite regular la temperatura y humedad de los humos.

Las ventajas fundamentales que consigue este sistema es la de reducir el tamaño de los sistemas de desempolvado y chimeneas así como reducir el consumo de agua.

Refrigeración por cambiador térmico: no se produce aumento de volumen ni de masa puesto que no se introduce un nuevo fluido en el circuito de los humos de combustión reduciendo sensiblemente los volúmenes del sistema de desempolvado y la potencia de los ventiladores de impulsión.

### 8.3.- CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La depuración y dispersión de los humos producidos por la combustión de los residuos se hace necesaria debido al fuerte impacto ambiental producido. Los posibles malos olores generados por los humos son destruidos si la temperatura en la cámara de combustión supera los 750 °C.

Los principales contaminantes presentes son el anhídrido carbónico, el anhídrido sulfuroso y el ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico puede proceder del PVC presente en los residuos o del cloruro sódico presente en las basuras. Su presencia exige la depuración por vía húmeda, siendo necesario proteger contra la corrosión las paredes de la instalación expuestas a su acción. Otros gases nocivos que pueden encontrarse en los humos son el óxido de nitrógeno, ácido fluorhídrico, ácidos orgánicos y aldehídos. Todos ellos, así como el monóxido de carbono se producen sólo si la combustión de los residuos es defectuosa.

En el polvo suspendido en los humos se pueden encontrar plomo, cinc, cadmio, mercurio, cobre, cromo, níquel, manganeso. La presencia de este tipo de contaminantes exige una eliminación del polvo o cenizas volantes.

- **Monóxido de carbono (CO):** se forma durante la combustión de materiales carbonosos cuando no se aporta suficiente oxígeno. Reacciona con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina. El organismo confunde este compuesto con la oxihemoglobina que normalmente transfiere el oxígeno a los tejidos. La falta de oxígeno puede causar dolores de cabeza, náuseas e incluso la muerte.
- **Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).** Los dos óxidos de nitrógeno más importantes son el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), denominados conjuntamente NO<sub>x</sub>. En la combustión hay dos fuentes principales de NO<sub>x</sub>: el que se forma mediante reacciones entre el nitrógeno y el oxígeno utilizado para la combustión y el que se forma mediante la reacción entre el oxígeno y el nitrógeno orgánico presente en el

combustible. Los óxidos de nitrógeno contribuyen a la formación de aerosoles nítricos que pueden causar niebla y lluvia ácida.

- **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** se forma en la combustión de compuestos que contienen azufre. Es un gas irritante para los ojos, la nariz y la garganta. En altas concentraciones puede causar enfermedades y se relaciona con la producción de lluvia y nieve ácidas.
- **Metales:** en la incineración los metales se emiten como partículas o en forma gaseosa. Los metales que pueden presentar más problemas desde el punto de vista de la salud son cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb). El mercurio es muy problemático porque se volatiliza a una temperatura relativamente baja: 329 °C. Casi todo el mercurio de los RSU se debe a las pilas domésticas. Algunos metales están presentes sólo en algunos productos de consumo y podrían separarse de los residuos antes de la incineración.
- **Partículas en suspensión:** aparecen como resultado de la combustión incompleta del combustible y del arrastre físico de los no combustibles. Las emisiones de partículas provocan problemas para la salud así como disminución en la visibilidad. Las partículas más pequeñas de 10 µm son las más peligrosas porque pueden penetrar profundamente en los pulmones. Aproximadamente entre el 20 y el 40 % de las partículas emitidas son de menos de 10 µm de diámetro y entre el 7 y el 10 % son de menos de 2 µm de diámetro.
- **Gases ácidos.** La incineración de residuos que contienen flúor, cloro, azufre y nitrógeno genera gases ácidos. El flúor está presente en cantidades traza en muchos materiales, mientras que el cloro se encuentra principalmente en los plásticos, sobre todo en el poliestireno (PS), el policloruro de vinilo (PVC) y el polietileno (PE).
- **Dioxinas y furanos:** la importancia de estas familias de compuestos orgánicos estriba en la gran toxicidad de algunos de sus isómeros que se encuentran entre las sustancias más tóxicas que se conocen. Para establecer unos niveles de referencia en cuanto a los límites de emisión de estos compuestos en la legislación española se admite hasta 0,1 ng/Nm<sup>3</sup>.

### 8.3.1.- Sistemas para el control de la contaminación atmosférica

#### Tecnologías para el control de partículas finas (<math><10 \mu\text{m}</math>)

##### Filtros electrostáticos

funcionan bajo el principio de la atracción electrostática. Fue el primer dispositivo de control de partículas utilizado en las incineradoras de RSU capaz de separar partículas finas (menores de  $10 \mu\text{m}$ ) y muy finas (menores de  $2 \mu\text{m}$ ). La eficacia de estos filtros es función de la temperatura y humedad de los gases de combustión y de la resistividad eléctrica de las partículas, normalmente muy elevada.

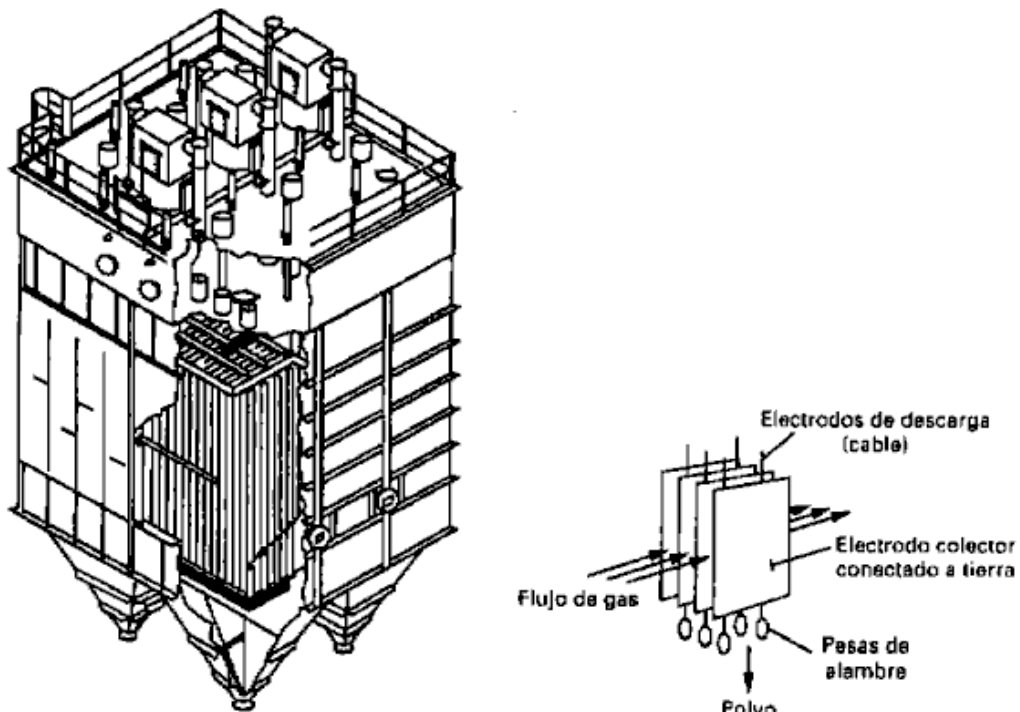


Figura 8.1.- Filtro electrostático.

Filtro de mangas. es el equipo más utilizado en las incineradoras de RSU de reciente construcción. Es un dispositivo en el que las bolsas de filtración se conectan paralelamente sobre una estructura. Las partículas del gas de combustión son atrapadas en una capa de polvo que gradualmente se va acumulando sobre la superficie de la bolsa. La capa de polvo permite que la manga filtre partículas mucho más pequeñas que las aberturas de las fibras ( $50$  a  $75 \mu\text{m}$ ), tan pequeñas como  $0,1 \mu\text{m}$ . Los parámetros más importantes para su diseño son el área, el material y el método de limpieza del filtro.

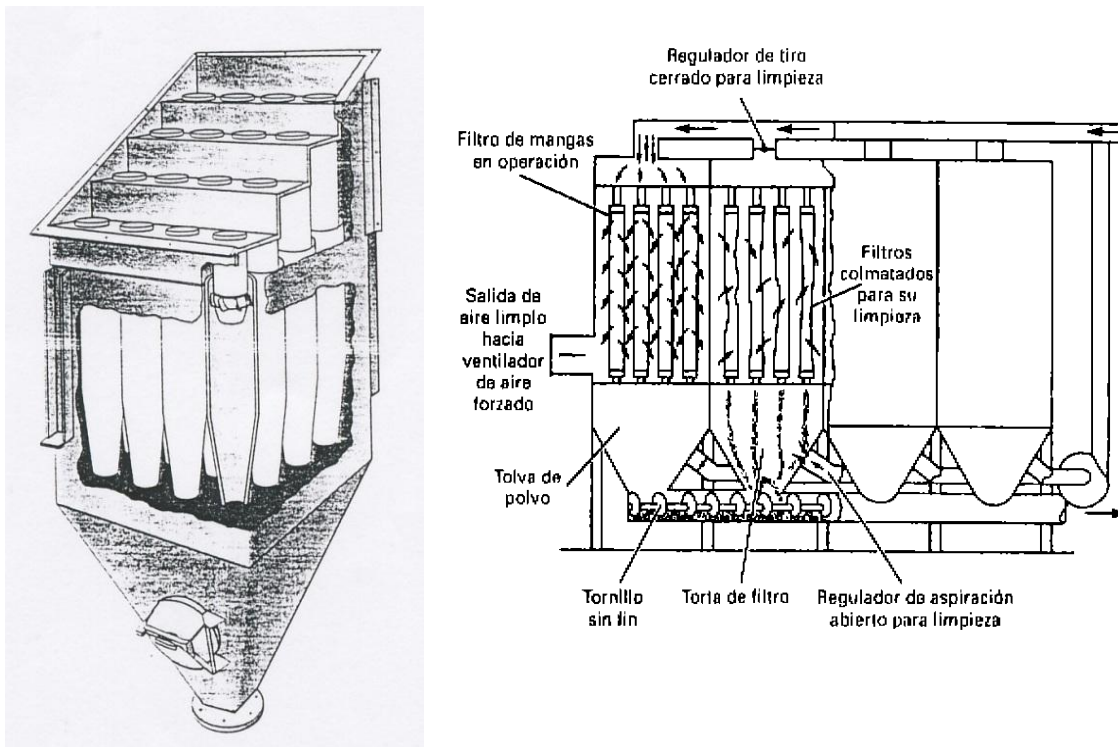


Figura 8.2.- Filtro de Mangas

Filtro electrostático de grava. Es un dispositivo híbrido que emplea la filtración mecánica y la atracción electrostática. Se ha utilizado en hornos que queman madera e incineradoras de RSU.

### Tecnologías para controlar gases ácidos

- Depuración por lavado. Colector húmedo: se utilizan disoluciones líquidas para neutralizar los gases ácidos. Está formado por un lavador y un desvaporizador, un apagador de cal y un filtro prensa o una centrifugación para deshidratar los fangos formados. La manera de hacer entrar en contacto el gas con la disolución líquida da lugar a distintos tipos de lavadores.

Este sistema presenta como principales inconvenientes el elevado consumo de agua, de 2 a 2,5 m<sup>3</sup> por tonelada de residuos incinerada, y la corrosión debido a los ácidos disueltos en los gases, especialmente el clorhídrico producido por la combustión de plásticos clorados.

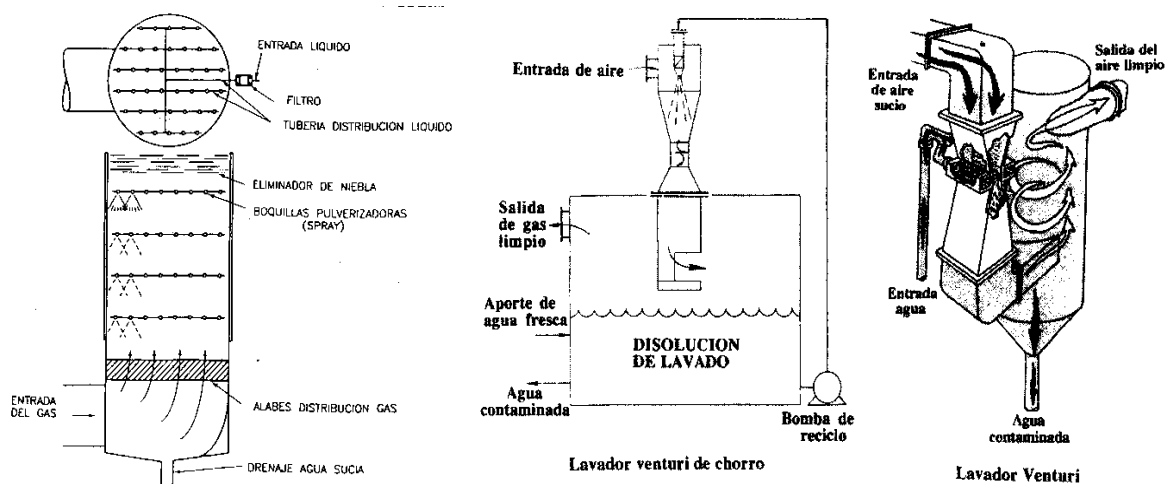


Figura 8.3.- Depuración por lavado: torre de lavado tipo spray y lavadores tipo Venturi

- Depuración seca: secado de rocío e inyección en seco. En un sistema de secado de rocío se introducen disoluciones de carbonato sódico y de cal en el desecador de rocío, donde reaccionan con los gases de combustión formando sales neutras. A continuación, se separan las partículas sólidas de sales así como las cenizas volantes que aún están en los gases de combustión, mediante un filtro de mangas. La eficacia de separación del SO<sub>2</sub> para una combinación de depuración seca y filtro de mangas es próxima al 98 por 100.

La inyección en seco consiste en rociar una solución de cal en la cámara de reacción, neutralizando los gases ácidos. El agua en la disolución se evapora completamente, de forma que no hay fangos que tratar. Se han obtenido eficacias en la separación de HCl y SO<sub>2</sub> de hasta el 99 %

**Tecnologías para el control de NO<sub>x</sub>:** es necesario controlar la combustión o tratar los gases de combustión que incluye la recirculación al horno de una parte de los gases producidos y la operación con bajas cantidades de aire en exceso e incineración por etapas. El funcionamiento con bajas cantidades de aire en exceso y la incineración por etapas suponen un cuidadoso control de la entrada del aire a la incineradora mediante la división del aire de combustión en corrientes primarias y secundarias. Como consecuencia, parte del horno funciona con aire limitado y el resto funciona con aire en exceso, reduciendo así la cantidad de NO<sub>x</sub> formado.

El tratamiento de los gases de combustión puede llevarse a cabo por reducción selectiva catalítica o no catalítica. La reducción selectiva se basa en la inyección de amoníaco en los gases de

chimenea, seguido o no por el paso del gas sobre un lecho catalizador. El NO reacciona con el amoníaco y el oxígeno para formar nitrógeno gaseoso y agua. El problema de la utilización de catalizadores en las incineradoras de RSU es la contaminación de los mismos por partículas y su envenenamiento por plomo. El proceso sin catalizadores exige el control de la temperatura del proceso para que el  $\text{NH}_3$  pueda inyectarse en una zona del horno dentro del rango de temperatura óptimo.

**Tecnologías para el control de CO e hidrocarburos:** la presencia de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos en los gases emitidos está directamente relacionada con la eficacia del proceso de incineración y, por lo tanto, con el diseño y la operación del sistema. La formación de estos compuestos tiene lugar por la incineración incompleta de los residuos, debido a una sobrecarga del horno y a la operación a temperaturas demasiado bajas provocada por el alto contenido en humedad de los residuos. Una forma de evitar estas emisiones es la introducción de oxígeno adicional. La adición debe estar bien controlada para evitar una temperatura de combustión demasiado alta y la generación de excesivas emisiones de  $\text{NO}_x$ .

**Tecnologías para el control de dioxinas, furanos y metales:** la separación en origen puede ser una medida eficaz para limitar las emisiones de metales pesados. La separación de pilas resulta de gran importancia para controlar las emisiones de mercurio y cadmio. Para el control de dioxinas y furanos se recomienda la separación de residuos que contengan cloro, principalmente los plásticos aunque la estrategia más eficaz para reducir las emisiones es el control de combustión.

Se ha comprobado que existe una fuerte correlación entre la temperatura, el tiempo de residencia y las emisiones de dioxinas y furanos. las condiciones que minimizan la generación de CO minimizan también su generación, por lo que se puede usar el valor de la concentración de CO para controlar las emisiones. También es importante el control de partículas para controlar las emisiones de metales y de dioxinas y furanos.

Dado que se ha observado que los óxidos y cloruros metálicos tienden a condensarse sobre partículas submicrónicas de cenizas, la mejor forma de depurar las emisiones de metales es mediante un filtro de mangas. Hay que tener en cuenta que esta técnica no permite eliminar el mercurio de las emisiones, dada su baja temperatura de volatilización, por lo que es necesaria su eliminación de los residuos.



### 8.3.2.- Dispersión de los humos

Los humos a su salida de la chimenea contienen aún polvos y algunos elementos contaminantes, especialmente azufre y cloro. La disminución de esta contaminación está basada en la dispersión de los humos, la cual depende básicamente de la altura de la chimenea y de la velocidad de salida

#### Cálculo de la altura de la chimenea:

Se puede emplear las fórmulas definidas en el anexo II de la Orden de 18 de octubre de 1976 sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera. Estas fórmulas son válidas para instalaciones de combustión de potencia global inferior a 100 MW, equivalentes a 86.000 termias por hora y chimeneas que emitan un máximo de 720 kg/h de cualquier gas o 100 kg/h de partículas sólidas. Para instalaciones mayores, se emplearán modelos físico-matemáticos de dispersión de contaminantes, que tengan en cuenta los parámetros meteorológicos y topográficos específicos de la zona.

#### Concentración a nivel del suelo de los elementos contaminantes:

Los gases nocivos que no son eliminables por los sistemas de depuración de humos, se limita su concentración máxima a nivel del suelo a un valor admisible para la salud pública.

## 8.4.- RESIDUOS PRODUCIDOS EN LAS INSTALACIONES DE INCINERACIÓN

### Escorias o cenizas de fondo

Representa la porción no quemada de los RSU y se obtienen directamente como residuo de la combustión. En una instalación de quemado en bruto, pueden contener cantidades importantes de metales y vidrio, así como materia orgánica no quemadas. Una forma de medir el rendimiento de la instalación es mediante la evaluación del porcentaje de materia orgánica no quemada en las cenizas. Si la combustión ha sido correcta, las escorias presentan menos de un 2% de residuos orgánicos. Las escorias son eliminadas en vertederos controlados o bien utilizadas como material de relleno en las carreteras u otras obras civiles o para fabricar bloques de construcción.

**Cenizas volantes:** los equipamientos utilizados para el control de las emisiones de partículas separan grandes cantidades de cenizas volantes, lo que origina un nuevo rechazo sólido que hay que gestionar. Deben ser manipuladas con mucho cuidado para evitar pérdidas incontroladas, por lo que deben ser transportadas en contenedores cerrados para su evacuación. Las cenizas son

muy solubles en agua, por lo que es recomendable su vertido separado de las escorias, considerándolas como un residuo industrial tóxico o corrosivo.

**Residuos de la depuración húmeda:** están constituidos por los lodos producidos en una depuradora húmeda utilizada para la separación de  $\text{SO}_2$  y gases ácidos. El tratamiento de estos residuos consiste en una deshidratación para disminuir el volumen, el vertido final del fango obtenido, teniendo en cuenta la presencia de metales pesados compuestos orgánicos en concentraciones traza, y el tratamiento del sobrenadante como un agua residual.

### 8.5.- BALANCE TÉRMICO DE UNA INCINERADORA

El conocimiento de todos los elementos que intervienen es necesario para controlar la capacidad de incineración máxima, el rendimiento de los eliminadores de polvo, calcular el PCI de los residuos y determinar las características y volúmenes de los gases y aire que intervienen en el proceso.

Para efectuar el balance basta considerar las entradas y salidas de calor al sistema, tomando como referencia la temperatura ambiente. Son entradas el calor potencial de los residuos (PCI) y el contenido en el agua de alimentación de la caldera o intercambiador de calor, si existe.

Son salidas:

- El calor contenido en el vapor producido y el contenido en los humos (15-25%).
- El calor potencial contenido en los residuos combustibles no quemados (4-8%).
- El calor contenido en las escorias y cenizas (1,5-2,5%) y el calor perdido por radiación (1,0-5,0%).

### 8.6.- ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Factores técnicos: el aspecto económico es el más importante. El estudio correspondiente debe incluir tanto el coste del terreno como los efectos que su situación tendrá sobre el coste de los servicios de recogida y transporte hasta la planta, incluyendo las obras de acceso. Si existe recuperación de energía y ésta se vende, deberá considerarse el coste que supone la distancia entre el centro productor y el receptor.

El aspecto funcional tiene una restricción en la superficie necesaria, función de su capacidad, el sistema elegido para refrigerar los gases, la existencia o no de sistemas de recuperación de calor y del tratamiento dado a las escorias y a las aguas residuales. Para una planta de 200 t/día, la superficie necesaria para las instalaciones de incineración oscila de 2.000 a 3.000 m<sup>2</sup>. La consideración de los accesos, vías interiores, instalaciones de pesaje y descarga, etc., conduce a unos 10.000 m<sup>2</sup>. En principio puede admitirse proporcionalidad entre la capacidad diaria de tratamiento y la superficie necesaria.

Los factores medioambientales: un factor de aceptación por parte de los ciudadanos del emplazamiento, está relacionado con el efecto de la instalación, tanto sobre la contaminación atmosférica como sobre el aspecto estético. No será recomendable su instalación en zonas de elevada contaminación atmosférica y obviamente requerirá la evaluación de impacto ambiental

## 8.7.- LAS INSTALACIONES DE INCINERACIÓN

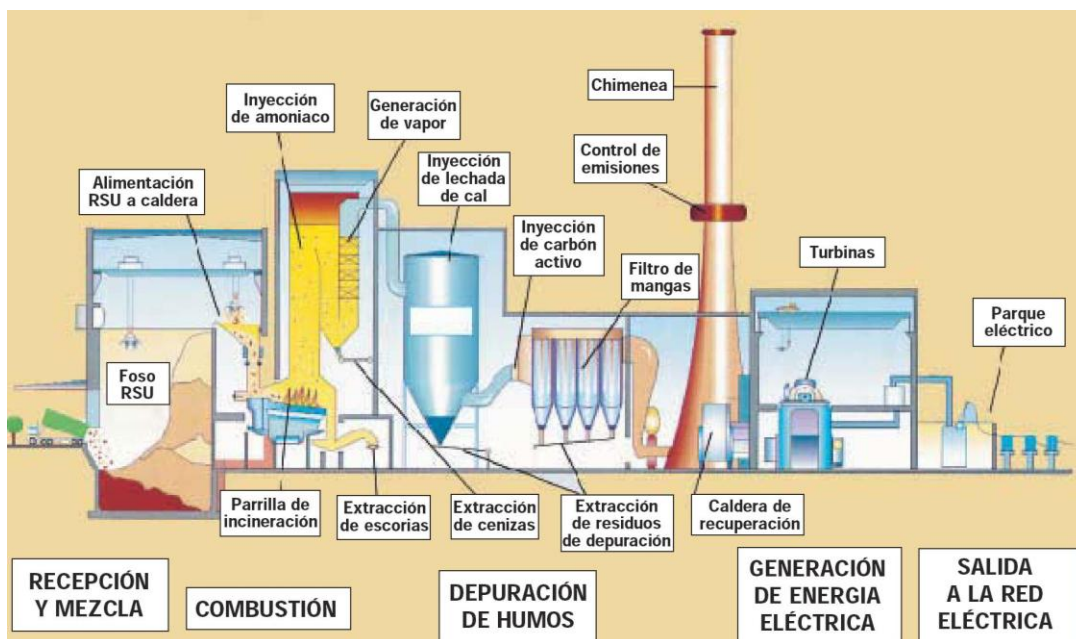


Figura 8.4.- Esquema de una planta incineradora

### 8.7.1.- Recepción de basuras y carga de hornos

Instalaciones de pesaje: es conveniente y a partir de las de mediano tamaño necesario, la instalación de un sistema de pesaje. El sistema normal es el pesado del camión a la entrada y a la salida de la instalación, en muchos casos esto se realiza de forma automática. La capacidad de estas básculas suele oscilar entre las 30 y las 40 t.



Plataforma de descarga: precede al foso de almacenamiento. Debe ser lo suficientemente amplia como para permitir la maniobra de los vehículos y generalmente es suficiente con 15 m a contar desde el borde del foso. El material más adecuado para su construcción es el hormigón armado. Esta zona se encontrará normalmente bajo techado.

Foso de almacenamiento: Es el lugar donde se efectúa el vertido de los residuos y su función es la de depósito regulador para la alimentación de los hornos. Su volumen oscila entre 1,5 a 2 días de trabajo de las instalaciones a pleno rendimiento. Las dimensiones se pueden determinar teniendo en cuenta que la longitud depende fundamentalmente del número y anchura de los hornos de que dispone la instalación y que la anchura y profundidad están ligados por criterios económicos. Un foso ancho exigirá un puente grúa de mayor coste y mayor trabajo del puente grúa, encareciendo el coste de las edificaciones y el terreno, y que un foso profundo aumenta la duración del ciclo del puente grúa y encarece notablemente el coste de construcción, disminuyendo el coste de las edificaciones y el terreno.

Para evitar que durante la descarga se escape polvo, papeles u olores se suele tener el foso a una presión inferior a la atmosférica, se aspirando el aire del fondo con ventiladores de aire primario. El material más adecuado para el foso es el hormigón armado para asegurar la impermeabilidad. Debe preverse un sistema de drenaje que permita la limpieza con agua a presión.

Puente grúa: se utiliza para trasladar los residuos del foso de almacenamiento a las instalaciones de carga de los hornos. Su disposición normal es perpendicular a la máxima dimensión en planta del foso, desplazándose sobre vigas paralelas a la citada dimensión.

Las cucharas utilizadas son de dos tipos, de almeja y de valvas múltiples. Es necesario que estas cucharas tengan peso suficiente para penetrar, por caída, en las basuras, por lo que su capacidad oscila entre 1 y 1,5 m<sup>3</sup>. En grandes instalaciones se suele utilizar un sistema de pesada de cada toma de residuos, el cual permite conocer las cantidades de residuos introducidas en los hornos. Dadas las difíciles condiciones de trabajo es conveniente disponer de uno de repuesto.

Para prever un posible corte de energía eléctrica, debe disponerse de un sistema auxiliar de generadores. Esto es aplicable a todo el conjunto de la instalación.

Instalaciones de carga de los hornos: está formada por el conjunto tolva-conducto de alimentación, que permite depositar los residuos directamente sobre las parrillas del horno. Debe asegurar la alimentación continua del horno sin atascos y una reserva de residuos entre dos cargas sucesivas, de forma que se asegure la hermeticidad del horno.

Generalmente se construye en chapa metálica, con un tamaño, en la boca de la tolva, tal que admita a la cuchara del puente grúa totalmente abierta. El conducto de alimentación debe tener la misma anchura que el horno.

Dada la gran capacidad de abrasión de las basuras es necesario proteger la superficie interior de la instalación. Generalmente se recurre a utilizar un espesor mayor en la chapa de construcción que permita una disminución importante en el tiempo de mantenimiento.

La parte inferior del conducto de alimentación debe protegerse frente a los posibles incrementos bruscos de temperatura, para lo cual suele recurrirse a la utilización de una camisa de agua, un indicador del nivel de basuras, con dispositivo de alarma a nivel bajo, un indicador de temperatura y una compuerta estanca, que permita el aislamiento del horno del exterior.

### **8.7.2.- Hornos**

Es la instalación básica, desde el punto de vista técnico, de la instalación de incineración, aunque económicamente solo representa un porcentaje que varía entre el 25 y el 50 % de la inversión inicial. El horno puede dividirse en dos partes fundamentales:

#### 1. Parrillas y anexos

Su finalidad es asegurar la combustión de los residuos, permitiendo su manipulación. Se incluyen en este conjunto los siguientes elementos:

- Un dispositivo para la introducción de los residuos en el hogar.
- Un soporte físico para la combustión, la parrilla. Generalmente los hornos están equipados con tres parrillas sucesivas escalonadas o en cascada.
- Un dispositivo para el transporte y volteo de los residuos por el interior del horno.

El aire necesario para la combustión se inyecta bajo las parrillas, contribuyendo por su elevada temperatura al secado de los residuos.

#### Cámara de combustión

Se sitúa directamente sobre las parrillas y permiten la combustión completa de los gases antes de su salida del horno. Es la parte del horno sometida a mayor temperatura (de 900 a 1000 °C), lo cual exige recubrir sus paredes con materiales refractarios y/o paredes de agua; esto último absolutamente necesario si se desea recuperar energía.

Las funciones principales de la cámara de combustión, son:

- Permitir la mezcla del aire secundario con los gases todavía no quemados, asegurando su perfecta combustión.
- Calentar y secar, por radiación, los residuos, permitiendo mantener estable la temperatura necesaria para quemar los gases.
- Contener el sistema de recuperación de calor en las instalaciones proyectadas para ello.

Existen tres clases de hornos en función de su funcionamiento:

- A.- Hornos de funcionamiento discontinuo
- B.- Hornos de funcionamiento continuo
  - B.1.- Hornos continuos de parrillas
  - B.2.- Hornos rotativos
  - B.3.- Hornos mixtos
- C.- Hornos de lecho fluidizado

#### A.- Hornos de funcionamiento discontinuo

Están prácticamente en desuso. Exigen la utilización de un combustible auxiliar de elevado poder calórico y sólo pueden usarse para pequeños núcleos urbanos. Pueden ser adecuados por su más perfecto quemado de los residuos en el caso de hospitales, plantas de compost, etc.

Consisten en una cámara, protegida por material refractario, donde se introducen los residuos, se queman completamente y finalmente se evacuan las escorias producidas.

#### B.- Hornos de funcionamiento continuo

Todas las funciones se realizan de forma continuada y automática. Actualmente estos hornos son prácticamente los únicos que se utilizan alcanzando producciones de 50 t/h.

**B.1. Hornos continuos de parrillas.** Es el horno mayoritario en las instalaciones de nueva implantación. Las parrillas están situadas, bien horizontalmente formando una escalera, bien inclinadas formando un plano inclinado. Existen múltiples sistemas que permiten el movimiento de las parrillas, asegurando el movimiento de los residuos y a la vez su volteo.

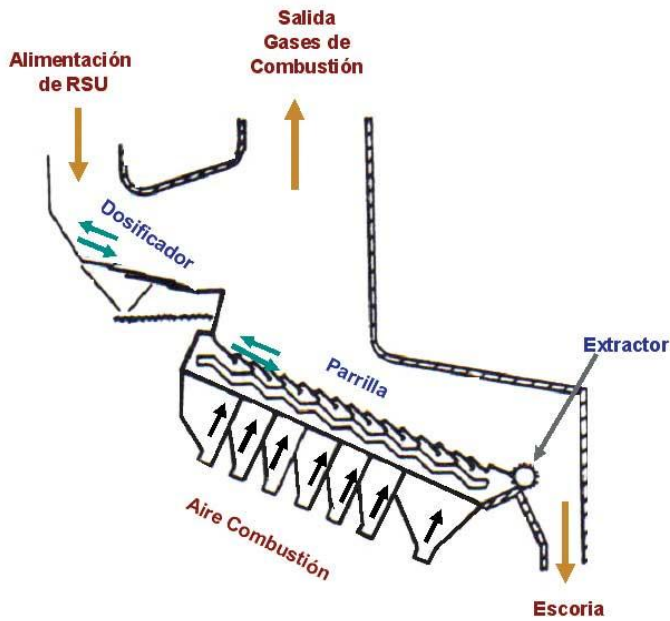


Figura 8.5.- Horno de parrillas

**B.2.- Hornos rotativos:** aplican la tecnología utilizada en las fábricas cementeras. Constan de un cilindro inclinado que gira sobre sí mismo, a través del cual van pasando los residuos. El aire necesario para la combustión se inyecta por el extremo opuesto a los residuos, arrastrando a los gases hacia la cámara de combustión. Debido a su forma de funcionar con volteo consiguen un mejor quemado de las basuras. Se construyen para pequeñas capacidades, exigiendo generalmente la utilización de un combustible auxiliar.

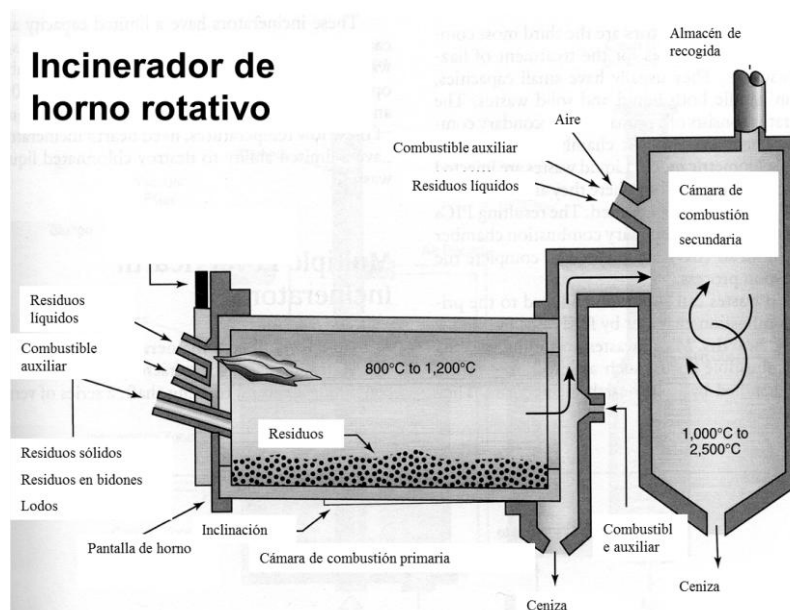


Figura 8.6.- Horno Rotativo

**B.3.- Hornos mixtos:** combinan el sistema de parrillas con el rotativo, utilizando este último para asegurar un perfecto acabado de la combustión. Una realización característica es el horno Volund que consta de una parrilla inclinada de secado, una parrilla inclinada de combustión y un tambor rotativo inclinado que asegura la combustión total. Pueden utilizarse para grandes capacidades, dado que son de gran tamaño debido al volumen necesario en los conductos de humo.

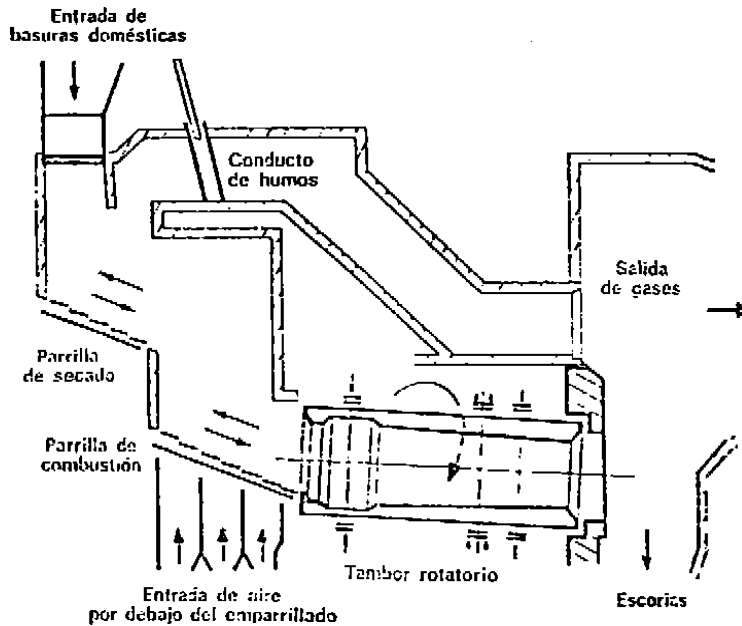


Figura 8.7.- Horno Volund mixto

### C.- Hornos de lecho fluidizado

Consiste en un cilindro vertical de acero, forrado con ladrillos refractarios, un lecho de arena, una placa de rejilla de apoyo y toberas de inyección de aire. Cuando se fuerza el aire hacia arriba a través de las toberas, el lecho de arena se fluidiza y se expande hasta dos veces su volumen en reposo. La acción hirviente del lecho fluidizado provoca turbulencias y favorece la mezcla y transfiere calor al combustible. Cuando se pone en funcionamiento requiere combustible auxiliar para subir la temperatura operacional (790 a 950°). Son bastante versátiles y pueden operar sobre una amplia variedad de residuos, incluyendo RSU, fangos y residuos químicos peligrosos.



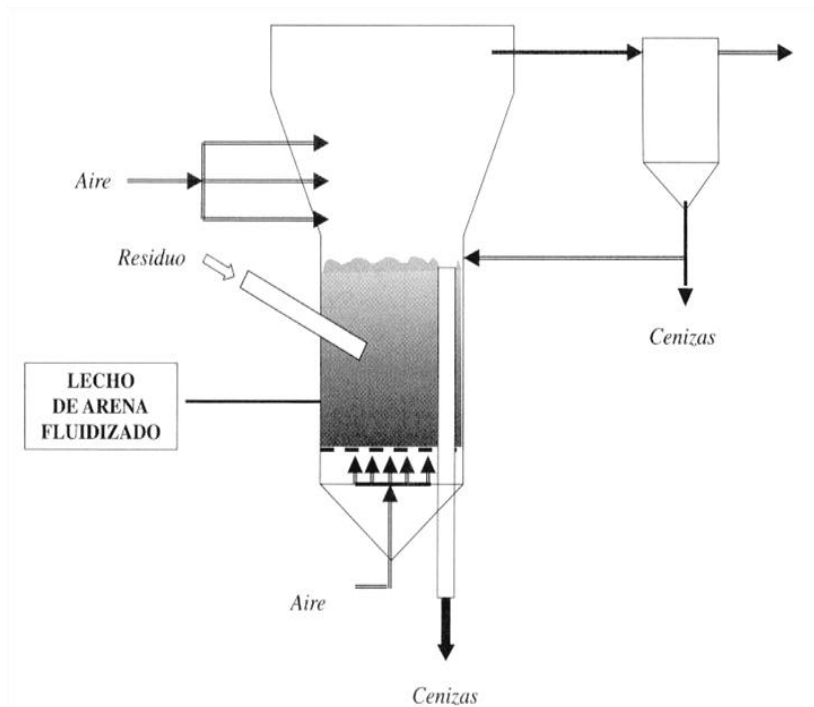


Figura 8.8.- Horno de lecho fluidizado

### 8.7.3- Instalaciones de tratamiento de los productos resultantes

#### Extracción y evacuación de escorias

El sistema debe enfriarlas y extraerlas manteniendo la estanqueidad del horno usualmente mediante la inmersión en agua. Dada la temperatura de las escorias (250 a 700 °C) este enfriamiento produce una emisión de vapor. Las formas de extracción más usuales son:

- Extractor de cadenas constituido por una cadena que sube las escorias por un plano inclinado, consiguiéndose la estanqueidad por estar todo el conjunto sumergido en agua.
- Extractor de paleta similar al anterior, pero la cadena se ha sustituido por una paleta.

Una vez se han extraído las escorias del hornos se transportan hasta el almacenamiento previo a su vertido o venta por medio de cinta transportadora o vagoneta. Todos los sistemas que deban trabajar con escorias deben poseer gran resistencia a la abrasión.

Enfriamiento de los gases: se realiza en las instalaciones sin recuperación de calor, en la cámara de enfriamiento, mediante la inyección de aire terciario o agua. Esta cámara es una prolongación de la combustión, estando recubierta por el mismo material refractario.

En las instalaciones con recuperación de calor, tras la caldera se encuentra a veces una torre de refrigeración. La torre es cilíndrica, de acero y va provista de pulverizadores de agua. Este sistema necesita mucho mantenimiento, debido a las corrosiones producidas por los ácidos condensados. Esto puede evitarse, si se utiliza como agua de refrigeración la utilizada en el enfriamiento de las escorias, que por ser alcalina neutraliza parte de los ácidos.

### Recuperación del calor

Se efectuará sólo en el caso en que su venta compense los gastos suplementarios de la inversión necesaria para ello, lo cual suele suceder a partir de las 120.000 t/año de residuos. La venta es posible técnicamente sólo si el calor, en forma de vapor o electricidad se suministra con regularidad, lo cual exige que el PCI de los residuos a incinerar supere los 1.000 kcal/kg.

Las instalaciones de producción de calor comprenden:

- La caldera, cuya función es recuperar el calor contenido en los gases de la combustión.
- Las instalaciones de aprovechamiento del calor recuperado, que pueden ser:
  - Sistema de regulación de presión y cantidad de vapor, si se sirve éste directamente.
  - Grupo turboalternador, si se suministra energía eléctrica.
  - Los circuitos auxiliares de agua y vapor, que son aquellos sistemas, constituidos por conducciones y mecanismos de impulsión del fluido que circula por ellos, que permiten el paso de los gases de combustión, aire y agua por las distintas partes de la instalación.

## **8.8.- COSTES**

### **8.8.1.- Costes de inversión**

Dependen especialmente del sistema utilizado para la depuración de los humos y de las instalaciones para la recuperación de energía en forma de calor.

Los sistemas por vía húmeda no aseguran el cumplimiento de los mínimos de emisión que exige la ley de Protección del Medio Ambiente Atmosférico. La recuperación de energía no se justifica en plantas de reducida capacidad de tratamiento (menos de 100 t/día) debida a la alta incidencia de las instalaciones sobre el coste de inversión inicial. Para plantas de capacidad entre 250 y 100 t/día depende de sus posibilidades de venta, por lo que la decisión deberá tomarse tras un estudio

económico. En plantas de capacidad superior a las 250 t/día la recuperación de energía para abastecer el consumo de la propia planta, es prácticamente preceptiva y es necesaria la utilización de electrofiltros como sistema de eliminación del polvo de los gases.

En los costes hay que incluir los correspondientes a la eliminación de las cenizas producidas por el proceso, fácilmente estimables asimilándolos al caso del vertido controlado teniendo en cuenta que la reducción en peso respecto al peso inicial de los residuos es del 75 al 80% y en volumen del 93 al 95%.

### **8.8.2.- Costes de explotación**

Dependen fundamentalmente del rendimiento de la instalación y del mantenimiento. No se incluyen los derivados del transporte y eliminación de cenizas y escorias.

El rendimiento de la instalación está ligado a la adecuación entre la capacidad de la planta y las necesidades reales, así como la adecuación del diseño de la planta a las características de los residuos a incinerar. Las características de los residuos más influyentes son el PCI, la humedad, el porcentaje de materiales combustibles e inertes o la presencia de materiales como los plásticos que pueden provocar problemas en el funcionamiento de los hornos.

El mantenimiento de este tipo de instalaciones es especialmente caro por dos razones; la primera la heterogeneidad de los residuos, lo cual provoca variaciones importantes en las condiciones de funcionamiento, la segunda es la necesidad de importar las piezas, lo cual no solo encarece su coste sino que aumentan además los tiempos de detención de la instalación.

Debe considerarse con cuidado los costos futuros de explotación, ya que cabe esperar un importante aumento debido al costo de la energía necesaria para el funcionamiento de los ventiladores, electrofiltros, etc. Es por esto por lo que la línea a seguir en el futuro es la consideración de los incineradores como verdaderas centrales térmicas, utilizando un combustible, que aunque residual estará normalizado utilizando técnicas como son los pellets o granulados combustibles. Para una incineradora estándar el coste neto aproximado sería entre 50 y 80 €/t.

## **8.9.- EL DOCUMENTO BREF SOBRE INCINERACIÓN**

### **Técnicas de pretratamiento, almacenamiento y manejo**

Esta sección está organizada de modo que describe en orden las operaciones más relevantes para cada tipo de residuo, en particular para: RSU, residuos peligrosos, lodos de depuradora y residuos clínicos.

### Residuos sólidos urbanos (RSU)

La recogida y pretratamiento local aplicado a los RSU puede influir sobre la naturaleza del material recibido en la planta incineradora. Los requisitos relativos al pretratamiento y deben ser consistentes con el sistema de recogida existente. Los programas de reciclaje pueden implicar que algunas reacciones hayan sido eliminadas.

Fracción eliminada	Impactos principales sobre el resto de residuos
Vidrio y metales	Aumento en el poder calorífico
	Reducción en la cantidad de metales recuperables en la escoria
Papel, cartón y plástico	Reducción en el poder calorífico
	Posible reducción en las cargas de cloro si el PVC es común
Residuos orgánicos, como alimentos y residuos de jardín	Reducción en las cargas de humedad (particularmente de las cargas máximas)
	Aumento en el valor calorífico neto
Residuos voluminosos	Menor necesidad de extracción/trituración de tales residuos
Residuos peligrosos	Reducción en la carga de metales peligrosos
	Reducción de algunas otras sustancias, como Cl, Br, Hg

Tabla 8.1.- Impacto principal de la selección y pretratamiento de los residuos

Un estudio que evaluó el efecto de la recogida selectiva de los restantes residuos domésticos (denominados «residuos grises») llegó a las siguientes conclusiones:

- La recogida de vidrio redujo la productividad (–13%) y aumentó el poder calorífico neto (PCN) (+15%) del «residuo gris» restante;
- La recogida de envases y papel redujo la productividad (–21%) y redujo el PCN (–16%) del «residuo gris»;
- La productividad y el PCN del «residuo gris» se redujeron al aumentar la eficacia de la recogida selectiva. El máximo impacto de la recogida selectiva fue de –42 % para la productividad y de –3% para el VCN del «residuo gris»;

- La recogida selectiva tuvo un efecto sobre la calidad del residuo gris –aumentó significativamente el contenido de la fracción de finos, que puede ser particularmente rica en metales pesados (los finos aumentaron del 16% a 33%);
- El porcentaje de cenizas de fondo se redujo debido a la recogida selectiva (–3 %).
- El grado en el que la recogida selectiva afectan el residuo final, suministrado a la instalación, depende de la eficacia de los sistemas de separación y pretratamiento empleados.

#### **8.10.- TÉCNICAS DE TRATAMIENTO, CONTROL Y RECICLAJE DE RESIDUOS DE INCINERACIÓN**

Cabe hacer una distinción entre los residuos derivados directamente del proceso de incineración y los derivados del sistema de TGC. Pueden ser ceniza volante fina y/o productos de reacción y aditivos sin reaccionar. Esta última categoría suele denominarse residuos de Tratamiento de Gases de Combustión (TGC) o de Control de Contaminación Atmosférica (CCA). Los residuos sólidos de los procesos de tratamiento del efluente del lavador (húmedo) suelen prensarse, formando un sólido denominado torta de filtro, o se mezclan con ceniza volante para minimizar el volumen o, para una mejor deshidratación, con yeso de la planta. Además, puede recuperarse yeso y sal de sistemas de tratamiento húmedo de gases de combustión.

El uso es posible si el material cumple una serie de criterios medioambientales y técnicos: combustión, reactividad general, lixiviación de metales, contenido salino, tamaño de partícula y distribución del mismo. Aunque muchas instalaciones modernas los cumple las barreras normativas son a veces los principales obstáculos para el uso de cenizas de fondo mediante medidas primarias y secundarias. Los métodos de tratamiento intentan optimizar uno o más de estos parámetros con el fin de imitar la calidad del material de construcción primario.

Debido a su gran volumen de producción, bajo carácter de peligrosidad y lixivabilidad, el tratamiento para reciclaje se aplica a la ceniza de fondo. El uso de las cenizas de fondo se fomenta en Holanda (>90% utilizada), Dinamarca (90%), Alemania (80%), Francia (>7 %), Bélgica y Reino Unido (21%).

El tratamiento de la ceniza de filtro y de caldera se realiza sólo en unas pocas instalaciones en Europa. En Holanda, la ceniza volante de plantas incineradoras de RSU y de lodos de depuradora se aplica como material de relleno en materiales para construcción de carreteras (asfalto) sin ningún pretratamiento en la planta de incineración. Alrededor de 1/3 del total de ceniza volante

de las plantas de IRSU y el 80 % de las plantas de incineración de lodo de depuradora (aprox. 80000 toneladas anuales en total), se utilizan de este modo.

Las medidas primarias para controlar la producción de residuos finales comportan la optimización del proceso de combustión con el fin de:

- garantizar una excelente combustión de los compuestos de carbono.
- promover la volatilización de metales pesados como Hg y Cd fuera del lecho de combustible.
- fijar los elementos litofílicos en la ceniza de fondo, reduciendo su lixiviabilidad.
- Los sistemas de tratamiento secundario comportan una o más de las siguientes acciones: reducción del tamaño, para permitir la segregación de los metales y mejorar la calidad
- segregación de metales féreos y no féreos, que pueden reciclarse en la industria metalúrgica;
- lavado, a fin de eliminar las sales solubles;
- envejecimiento, para estabilizar la estructura de la matriz y reducir la reactividad;
- tratamiento con un aglomerante hidráulico o de hidrocarburo, para reutilización como pavimento en carreteras;
- tratamiento térmico, para crear una matriz vítrea que contenga los metales inertes.

#### **8.10.1.- Mejores Técnicas Disponibles (MTD) genéricas para incineraciones**

Representan un punto de arranque para el proceso de determinar técnicas y condiciones locales apropiadas y la optimización local de las circunstancias de la instalación, teniendo en cuenta esta guía sobre MTD y otros factores locales.

- Motivaciones ambientales locales, como la calidad del entorno, pueden influenciar el comportamiento local requerido con respecto a emisiones de la instalación, o disponibilidad de determinados recursos.
- La naturaleza particular de los residuos que se producen localmente y el impacto de la infraestructura de gestión de residuos sobre el tipo de residuos que llegan a la instalación.
- El coste y la posibilidad técnica de aplicar una técnica particular en relación con sus posibles ventajas: esto es de particular relevancia a la hora de considerar la eficacia de las instalaciones existentes.



- La disponibilidad, grado de utilización y precio de opciones para la recuperación/eliminación de los residuos finales producidos en la instalación.
- El almacenamiento de residuos en tolvas cerradas, o en superficies estancas con desagüe controlado en naves cubiertas y cerradas con paredes.
- Cuando los residuos se apilen generalmente deben ser embalados o prepararse de otro modo para el almacenamiento, de modo que los riesgos de olores, sabandijas, suciedad, incendio y lixiviación queden efectivamente controlados.

#### **8.10.2.-MTD específicas para incineración de RSU**

- El pretratamiento de los residuos a incinerar, a fin de mejorar su homogeneidad y por consiguiente las características de combustión y quema, mediante mezcla en el búnker o uso de trituración para residuos voluminosos, como muebles, que deban ser incinerados, en la medida en que sea beneficioso de acuerdo con el sistema de combustión empleado. Los hornos de parrilla y rotativos requieren niveles más bajos de pre tratamiento, mientras que los sistemas de lecho fluidizado requieren mayor selección y pretratamiento de los residuos a incinerar, lo que normalmente incluye la trituración completa.
- El uso de un diseño de parrilla que incorpore suficiente refrigeración de modo que permita la variación del suministro de aire primario con el fin principal de control de combustión, más que para el enfriamiento de la parrilla en sí. Las parrillas refrigeradas por aire con una buena distribución de aire son generalmente adecuadas para residuos de PCN de hasta unos 18 MJ/kg. Los residuos con PCN más altos pueden requerir refrigeración por agua (u otro líquido) a fin de evitar la necesidad de niveles excesivos de aire primario a fin de controlar la temperatura de la parrilla y la longitud/posición del fuego sobre la parrilla
- La ubicación de instalaciones nuevas de modo que se potencie al máximo el uso de cogeneración y el aprovechamiento del calor, de modo que se supere un nivel de exportación total de energía de 1,9 MWh/tonelada de RSU, en base a un PCN de 2.9 MWh/tonelada.
- Reducir en general la demanda eléctrica media de la hasta menos de 0,15 MWh/tonelada de RSU procesados en base al mismo PCN.
- En situaciones en las que puedan exportarse menos de 1,9 MWh/tonelada de MSW , el mayor de:

- la generación de una media anual de 0,4-0,65 MWh de electricidad/tonelada de RSU (en base a un VCN medio de 2,9 MWh/tonelada de residuos procesados, con suministro adicional de calor/vapor en la medida de lo practicable por las circunstancias locales, o
- la generación de al menos la misma cantidad de electricidad de los residuos que la demanda media de electricidad de toda la instalación, incluyendo el pretratamiento de residuos in situ y operaciones de tratamiento in situ de los residuos finales producidos.

### **8.10.3.-MTD específicas para incineración de RSU pretratados o seleccionados**

En instalaciones nuevas o existentes, la generación del mayor de:

- a. una media anual general de al menos 0,6-1,0 MWh electricidad/tonelada de residuos (en base a un PCN medio de 4,2 MWh/tonelada), o
- b. la demanda anual media de electricidad de toda la instalación, incluyendo operaciones in situ de pretratamiento de residuos a incinerar o de tratamiento de los residuos finales generados.

La ubicación de instalaciones de modo que:

- a. además de los 0,6-1,0 MWh/tonelada de electricidad producida, el calor y/o vapor puedan también utilizarse para cogeneración, de modo que en general pueda alcanzarse un nivel adicional de exportación térmica de 0,5-1,25 MWh/tonelada de residuos (en base a un VCN medio de 4,2 MWh/tonelada), o
- b. cuando no se genere electricidad, puede alcanzarse un nivel de exportación térmica de 3 MWh/tonelada de residuos

Reducir la demanda de energía de la instalación y conseguir una demanda eléctrica media de la instalación (excluyendo pretratamiento de residuos a incinerar o de tratamiento de los residuos finales) hasta generalmente menos de 0,2 MWh/tonelada de residuos procesados en base a un VCN medio de 4,2 MWh/tonelada de residuos.



### 8.11.-TÉCNICAS EMERGENTES PARA REDUCIR LOS CONTAMINANTES PRODUCIDOS

- Uso de vapor como agente de pulverización en los quemadores posteriores a la cámara de combustión, en lugar de aire.
- Aplicación con recalentamiento del vapor de la turbina.
- Otras medidas en la zona del gas crudo para reducir las emisiones de dioxinas.
- Lavador de aceite para la reducción de compuestos aromáticos polihalogenados e hidrocarburos poliaromáticos (HAP) en los gases de combustión .
- Uso del CO<sub>2</sub> en los gases de combustión para la producción de carbonato sódico.
- Aumento de la temperatura del lecho, control de combustión y adición de oxígeno en un incinerador de parrilla.
- Proceso de combinación PECK para tratamiento de RSU.
- Estabilización con FeSO<sub>4</sub> o CO<sub>2</sub> de los residuos de TGC.
- Resumen de otras técnicas emergentes para el tratamiento de residuos de TGC.
- Aplicación de tecnología de membranas para uso en plantas de tratamiento de aguas residuales para efluentes de lavadores húmedos.
- Sistemas de TGC combinados de bicarbonato sódico seco + RCS + lavador.

### 8.12.-ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA INCINERACIÓN DE RSU.

#### 8.12.1.- Información de los Estados Miembros

**Bélgica:** la política de residuos en las tres regiones belgas tiene por finalidad el máximo de reducción de los residuos finales.

Región de Flandes: El canon medio para la incineración de residuos urbanos era de 87,5 € por tonelada en 2000. El gobierno flamenco añade una tasa a esta tarifa de 6 €/t cuando se realiza recuperación de energía, y de 12,7 €/t sin recuperación de energía.

La eliminación en vertedero de residuos urbanos (con la excepción de residuos voluminosos no reciclables clasificados) y la incineración de fracciones recogidas separadamente está legalmente prohibido por el gobierno flamenco desde el 1 de julio de 1998. La eliminación en vertedero de residuos voluminosos combustibles está prohibida desde el 1 de julio de 2000. Sólo

excepcionalmente se sigue permitiendo la eliminación en vertedero de RSU—en 2000 se incineraron 789.425 toneladas de RSU, y 190.412 toneladas de RSU se enviaron a vertederos.

Región de Bruselas: el coste para la incineración de residuos domésticos en la planta de incineración SIOMAB (operador: Net Brussels) de Neder-Over-Hembek se calcula en 62 € por tonelada. Una mejor estimación del coste real de incineración en la planta SIOMAB es probablemente el precio cargado por Net Brussels a los municipios de la región de Bruselas por la incineración de residuos urbanos. Unas 40.000 toneladas de residuos de Flandes se incineran en esta instalación, junto con los residuos urbanos de la Región de Bruselas (fuente: OVAM, 2001).

Región Valona: En el Plan Wallon des Déchets (Plan Valón de Residuos), los costes de referencia en base a las instalaciones actuales se estimaron en 67 € por tonelada.

**Dinamarca:** todas las plantas de incineración recuperan energía, bien en forma de electricidad y calor, o sólo en forma de calor (distribuido mediante sistemas de calefacción centralizada).

Los precios para la incineración de una tonelada de residuos domésticos se sitúan en 500–740 DKK = 66-99 €, IVA no incluido, pero incluyendo canon sobre residuos. En canon sobre incineración de residuos era de 330 DDK = 44 € en enero de 2001. Estos precios incluyen los costes de inversión de la planta y de cogeneración, y las plantas se utilizan para generar calefacción centralizada (que da un menor coste neto por tonelada y un menor canon). La ceniza de fondo se suele reciclar (75 %), y el resto se envía a vertederos. Los residuos de limpieza de gases de combustión se envían actualmente a Noruega/Alemania, donde son depositados en vertederos/minas, o son enviados a instalaciones de gestión de residuos especiales/peligrosos.

**Finlandia:** la política finlandesa de incineración de residuos se ha centrado principalmente en la producción de combustibles derivados de residuos para co-incineración en estaciones de cogeneración existentes. Esta política se está aplicando (en parte) para minimizar costes, en una situación en la que ya existe una gran infraestructura para la distribución de calor de estaciones de generación de combustibles convencionales y de biomasa.

## Francia

Los factores claves que explican la variación en los costes son:

- Capacidad e índice de utilización
- tipo de residuo y transporte de residuos y recuperación de residuos
- Las siguientes cifras se extraen de una evaluación realizada en 2002 en la 42ª, y más recientemente construida, planta de IRSU existente en Francia:
- costes de inversión: 3,6 millones €/t/h
- costes operativos: 32 €/t de media, este valor es muy variable, y va desde 18 a 42 €/t.
- Los costes operativos pueden derivarse como sigue: 33 €/t de costes fijos, 13 €/t para eliminación de residuos y 14 €/t de ingresos de ventas de energía o residuos.
- El coste total resultante por tonelada de residuos tratados es igual a 78 €/t (tiempo de amortización 15 años, una inversión pagara al 100 % mediante un crédito bancario a un tipo de interés del 6 %, y una planta con 8000 horas anuales de operación).
- Influencias claves identificadas para futuras variaciones en costes.
- desarrollos tecnológicos y evolución de las normativas sobre emisiones.

## Alemania

Casi todas las instalaciones de tratamiento térmico son incineradoras de residuos de parrilla. La capacidad de otras opciones de tratamiento, como plantas de pirólisis, es insignificante. Hay una gran variedad de tamaños de planta, tratamientos de gases de combustión u uso ulterior de la energía generada. Los costes de un incinerador de parrilla con una capacidad de 200.000 toneladas anuales, tratamiento seco y húmedo de gases de combustión y generación de electricidad se indican en la Tabla 16.

En general, los cánones por incineración de residuos son del orden de 64-460 €/t. Según otras fuentes, el rango es de 89-351 €/t. Un 50 % de todos los datos de costes de incineradoras de residuos están en el rango de 123-256 €/t (según UBA).

Los costes para incineradores de parrilla de distintos tamaños varían mucho, e indican economía de escala.

Capacidad (t/año)	Costes de tratamiento específicos, €/t
50.000	230
100.000	140

200.000	105
300.000	85
600.000	65

Tabla 8.2.- Costes de tratamiento en incineradoras de parrilla de RSU

Los factores claves que contribuyen a los costes de la incineración de residuos son:

- la elección de tecnología y el equipo técnico (especialmente tratamiento de gases de combustión) de la planta;
- el tamaño y operatividad de la planta, la capacidad y su grado de utilización;
- el canon pagado por las autoridades locales. Esto está influenciado por si las autoridades locales deben pagar un canon al operador de la planta por una cierta cantidad de residuos, que deben ser suministrados a la planta. Aunque los contratos se basan a menudo en una cantidad concreta de residuos y son válidos durante largos periodos de tiempo, la cantidad de residuos ha disminuido en años recientes;
- los ingresos obtenidos de la energía suministrada. La cantidad de electricidad y calor generada y vendida varía ampliamente según la tecnología y la ubicación de la planta;
- el coste de los agentes químicos y la eliminación de los residuos finales de la incineración.

Los factores claves que se espera que influyan sobre los costes futuros son:

- Suponiendo que las incineradoras futuras estarán equipadas con tecnología simplificada de tratamiento de gases de combustión menos compleja, es de esperar que los costes disminuirán
- La normativa sobre tratamiento de residuos prohíbe a partir de 2005 la eliminación en vertedero de residuos finales no pretratados con un contenido de más del 5 % de carbono. Lo que podría producir una falta de capacidad de incineración de residuos, y en consecuencia las tarifas de las incineradoras podrían aumentar.

INVERSION TOTAL	Inversión (€)	Amortización (años)	Tipo %	Coste Anualizado (€/año)	Costes Específicos (€/t)
Costes de instalación	368.000		7	25.700	0,13
Desarrollo de la instalación	341.000	25	7	29.200	0,15
Costes de construcción	21.629.000	25	7	1.856.000	9,28
Instalaciones técnicas y	69.740.000	15	7	7.657.100	38,29

maquinaria					
Instalaciones electrotécnicas	13.280.000	15	7	1.458.000	7,29
Tasas	7.349.000	17	7	752.800	3,76
Pre-financiación	9.219.000	17	7	944.200	4,72
<b>TOTAL</b>	<b>121.925.000</b>			<b>12.723.000</b>	<b>63,61</b>
<b>COSTES OPERATIVOS, fijos</b>	<b>€</b>	<b>Porcentaje</b>		<b>Costes anuales €/año</b>	<b>Costes Específicos (€/t)</b>
Construcción	21.970.000	1		219.700	1,10
Instalaciones técnicas y maquinaria	69.740.000	4		2.789.600	13,95
Instalaciones electrotécnicas	13.280.000	2,5		332.000	1,66
Impuestos y seguros	105.357.000	1		1.053.600	5,27
Gestión	2.863.000	10		286.300	1,43
Materiales auxiliares	3.341.000	5		167.100	0,83
		<b>Número</b>	<b>€/persona</b>		
Mano de obra		80	35790	2.863.200	14,32
<b>TOTAL</b>				<b>7.711.500</b>	<b>38,56</b>
<b>COSTES OPERATIVOS, variables</b>		<b>€ por m³/año</b>	<b>€/m³</b>		
Agua de proceso		51.200	0,15	7900	0,04
Gas		1.381.440	0,20	282.500	1,41
		<b>t/año</b>	<b>t</b>		
CaO		1.000	79,2	79.200	0,40
Amoniaco		400	97,1	38.900	0,19
	<b>kg/t entrada</b>				
Tratamiento de escoria	334	66.800	28,1	1.878.500	9,39
Tratamiento de cenizas	8	1.600	255,6	409.000	2,05
Tratamiento de polvo de filtro	22	4.400	255,6	1.124.800	5,62
<b>TOTAL</b>				<b>3.820.800</b>	<b>19,10</b>
	<b>MWh/t entrada</b>	<b>MWh/año</b>	<b>€/MWh</b>	<b>€/año</b>	<b>€/t</b>
Créditos por electricidad	0,35	70700	46,0	3.253.300	16,27
<b>TOTAL Coste Anual</b>				<b>21.002.000</b>	<b>105</b>

Tabla 8.3.- Costes para una incineradora de parrilla de RSU de 200000 t/año en Alemania.

La estimación del coste de construcción y operación de una planta de IRSU con una capacidad de 200.000 toneladas basada en los estándares de la Directiva 2000/76/CE y en la experiencia comparativa en Dinamarca y Reino Unido, pero con referencia a las condiciones en Irlanda se muestra en la Tabla 8.4.

Costes de inversión	€
Obras civiles y naves	23.741.660
Equipo mecánico y eléctrico	45.388.468
Otros	15.108.329
<b>Total</b>	<b>84.238.458</b>
<b>Costes operativos</b>	
<b>Fijos</b>	
Personal	954.297
Mantenimiento y reposición	890.522

Imprevistos	125.527
<b>Total</b>	<b>1.988.422</b>
<b>Variables</b>	
Mantenimiento y reposición	839.782
Agentes químicos	890.522
Otros (consumibles y residuos)	1.174.520
Otros (no especificados)	293.630
<b>Total</b>	<b>3.198.454</b>
<b>Costes variables por tonelada</b>	16

Tabla 8.4.- Coste estimado de construcción y operación de una planta incineradora de RSU

## Italia

En 1999, la incineración cubría un 7,2 % del total de tratamiento de residuos urbanos en Italia. La mayoría de instalaciones estaban diseñadas con estándares muy pobres en cuanto a la recuperación de energía (media 10 %) y emisiones. Los cánones de tratamiento variaban ampliamente, siendo del orden de 40-80 €/tonelada.

Hay 3 factores principales que afectan los costes:

- Fondos para cubrir parcial o totalmente los costes de construcción
- Subvenciones por la energía producida: inicialmente, en el ámbito de las disposiciones «CIP6» (que se considera que fomentan la producción de energía interna), y más recientemente con los «certificados verdes» (Decreto 79/99 y Decreto 11 Nov 99, cuya lógica es promover la producción de energía de fuentes no convencionales que no sean combustibles fósiles, contribuyendo así a los compromisos de Kyoto). El nivel de ambas subvenciones es de alrededor de 0,139 €/kWh, lo que permite a las instalaciones contratadas recortar las tarifas en unos 40 €/tonelada (alrededor de 30 €/tonelada más de los precios normales pagados por la energía en Italia)-si operan con un índice de recuperación de energía de medio a bajo. Los ingresos y su incidencia sobre los cánones de admisión son mayores cuanto mayores son los índices de recuperación de energía;
- Contribuciones por la combustión de materiales de envases –como medio para «recuperar» el envase en sí-pagadas por el inevitable Consorcio de Productores de Envases (CONAI), fijadas en 58 €/tonelada. Se aplican sólo al 30 %-40 % de los residuos incinerados, que representa el porcentaje de envases combustibles del total de RSU en la instalación. Esta contribución, definida en 1998, debe recortarse cada año, hasta 3,5

€/tonelada. Por consiguiente, en la actualidad, esta contribución incrementa los ingresos en 16,5 €/tonelada.

Hay previsto un aumento a nivel nacional de la incineración a consecuencia de las iniciativas legislativas para reducir la eliminación en vertederos.

La última generación de instalaciones de incineración presenta características comunes:

- todas las instalaciones recuperan energía en cumplimiento con la Ley nacional sobre Gestión de Residuos, que obliga a ello.
- las capacidades son en general mucho mayores que antes (del orden de 400- 1000 t/d e incluso más, ej: Brescia, la nueva incineradora de Milán.
- muchas de las nuevas instalaciones están bien integradas en estrategias para la eliminación de la fracción húmeda de los residuos a incinerar, mediante separación/compostaje y/o criba en origen (ej: Milán, Parona) que proporciona una fracción orgánica clasificada mecánicamente que luego debe estabilizarse biológicamente. Esta última característica hace que la incineración sea más similar a la producción de MBT/RDF con una instalación de combustión adecuada;
- a consecuencia de ello, los poderes caloríficos diseñados en condiciones operativas normales son más del orden de 10,5-12,5 MJ/kg

## Luxemburgo

En Luxemburgo existe una incineradora de residuos urbanos. El sindicato de gestión de residuos SIDOR se encarga de la gestión de esta IRSU. Las tarifas y cantidades de residuos a incinerar en la instalación de SIDOR en 1999 se muestran en la Tabla 8.5.

Residuos	Cantidad (t)	Tarifas (€/t)
Residuos domésticos	78.000	96,7
Residuos voluminosos	8000	128,9
Residuos verdes	550	96,7
Residuos de mercados	530	96,7
Residuos comerciales	33.000	178,5
Residuos de tratamiento de aguas (no lodos)	450	96,7
Residuos de producción	150	198,3
<b>TOTAL</b>	<b>120.680</b>	<b>120,7</b>

Tabla 8.5.- Residuos tratados en la instalación de SIDOR en 1999.

**Holanda:** tiene, desde hace tiempo, una de las normativas más estrictas para incineradoras de Europa. Cifras de OVAM sugieren que las tarifas de entrada de incineradoras eran del orden de 85-161 € en 2003. Se registran altos niveles de reciclaje de los residuos finales producidos en las plantas holandesas. Sólo los residuos de limpieza de gases de combustión no se reciclan rutinariamente.

Un reciente estudio aplicó algunas suposiciones (incluido una mejora de eficiencia del 15 %), derivando cifras para Holanda de 77 € por tonelada para una instalación nueva de 648 kt/año, mientras que el análisis de sensibilidad sugirió un rango de 63–94 €. Se hizo una suposición de ingresos por la venta de energía de 36 € por tonelada, equivalente a unos 0,05 E por kWh.

Los precios de mercado para electricidad son de aprox. 0,0271 €/kWh, con un beneficio potencial para la parte renovable (50 %) de 0,029 €/kWh (globalmente 0,042 €/kWh). Los ingresos son de aprox. 15-20 €/tonelada. Los costes de recuperación de cenizas de fondo son de unos 9 €/tonelada

**Portugal:** 46-76 €/tonelada,

**España:** se reporta un canon de admisión para la incineración de RSU de 18-51 € por tonelada. Las cifras para Cataluña son de 28,5 €/tonelada, aunque esto sólo tiene en cuenta costes operativos, y excluye la amortización de obras civiles, equipos e inversiones. El Ministerio de Medio Ambiente estima los costes en 52-73 € por tonelada. Hay beneficios de incineración gracias a una subvención especial por la electricidad producida. Esto tiene el efecto de reducir los costes arriba indicados a 34-56 € por tonelada.

**Suecia:** tiene 23 incineradoras, 6 con capacidad de más de 200000 anuales, el resto con una capacidad media de 40000 toneladas/año. Hay planes para construir casi otras tantas, a medida que los cambios futuros en la normativa sobre residuos mejoran la competitividad de la incineración. Tres incineradoras tienen capacidad de producir electricidad, pero se considera que el precio de la electricidad debe aumentar para que esta opción sea rentable y casi todas producen calor para calefacción centralizada. La mayoría de incineradoras suecas son de parrilla, el resto son de lecho fluidizado.



## Reino Unido

La mayoría de operaciones son incineradoras de combustión en masa. Algunas de estas fueron diseñadas para ser plantas de cogeneración, pero en la práctica el suministro de calor ha sido escaso. Por consiguiente, esta sección se concentra en instalaciones de combustión en masa que generan sólo electricidad. Hay tanto plantas de lecho fluidizado como incineradoras de parrilla estándar en funcionamiento. Además se están desarrollando plantas de gasificación y pirólisis, mientras que dos instalaciones fabrican RDF para uso externo.

### 8.12.2.-Aspectos económicos. Algunos aspectos tecnológicos de la incineración

- costes de descarga y almacenamiento en IRSU;
- elección y dimensionamiento del sistema de incineración y de la caldera;
- Configuraciones del ciclo de vapor de agua par recuperación de energía en una IRSU;
- opciones seleccionadas para tratamiento de gases de combustión en una IRSU;
- estimaciones de coste para toda una IRSU con tecnología de parrilla;
- costes de plantas de lecho fluidizado para RSU (incluidos costes de pretratamiento);
- sistemas de gasificación y pirólisis para RSU.

Los costes de una planta de incineración de residuos dependen básicamente de:

- diseño de la planta, tamaño e infraestructura local
- condiciones de límites específicas para el desecho de residuos,
- posibilidad de aprovechamiento de la energía.
- equipo técnico adicional de la planta;
- tratamiento de residuos y cantidad de residuos a incinerar.

Los principales componentes son:

- amortización de la inversión y costes de mantenimiento y reinversión
- costes de personal y otros costes fijos, como de administración y seguros,
- costes operativos proporcionales a la productividad, como agentes químicos y eliminación de residuos,
- ingresos de producción de energía proporcionales a la productividad.

Instalaciones existentes: el coste de la reconversión de los sistemas en instalaciones existentes es mayor que el coste en instalaciones nuevas. Esto está relacionado con el mayor coste de la adaptación técnica de los sistemas, suponiendo un aumento adicional de costes del 25-50% por factores adicionales tales como el esfuerzo de ingeniería e ingeniería civil adicional, coste de desmontaje y retirada del equipo antiguo, coste de conexión y pérdidas de producción de la planta existente, etc.

### **Costes de sistemas de gasificación y pirólisis para RSU**

Hay una planta de gasificación a plena escala productiva en Finlandia, en la ciudad de Lahti, que utiliza combustible reciclado de RSU seleccionados y residuos industriales a base de madera como corteza, serrín, contrachapado y conglomerado. La unidad de gasificación (50 MW) produce gas para uso en una gran caldera principal, que utiliza carbón como combustible principal. La fracción de residuos domésticos es de alrededor del 30-40 % del aporte de energía. Es propiedad y está operada por una empresa privada, Lahti Energy Ltd y tiene una capacidad de 100000 toneladas.

El sistema de recepción, proceso (trituration y criba) y alimentación de combustible está conectado a un gasificador. Los residuos domésticos energéticos se clasifican y recogen separadamente, y sólo requieren triturado para convertirse en combustible. El canon de admisión para residuos domésticos recogidos separadamente es cero.

El personal de la caldera principal opera y controla el proceso de gasificación, por lo que el gasificador no tiene costes de personal significativos por sí mismo. El proceso de tratamiento de los gases de combustión es en la caldera principal, y no ha sido incluido en los costes del gasificador. Esto explica la rentabilidad relativamente alta del gasificador

<b>Costes de la planta de gasificación</b>	<b>Coste/€</b>
<b>Costes de inversión:</b>	
Proceso y alimentación de combustible incluyendo beneficio del contratista y del proveedor del proceso.	4.204.698
Unidad de gasificación	7.568.456
<b>Total costes de inversión</b>	<b>11.773.154</b>
<b>Costes operativos sin incluir beneficios:</b>	
Gasificador	213.598
Proceso y alimentación de combustible incluyendo beneficio del contratista	267.419
Costes de combustible (además de residuos domésticos)	882.986

<b>Total costes operativos</b>	<b>1.364.003</b>
<b>Total costes anuales</b>	<b>2.656.632</b>
Ingresos por año:	
Ventas de electricidad (0,034 €/kWh)	3.531.946
Ventas calefacción centralizada (0,017 €/kWh)	1.765.973
<b>Total ingresos sin incluir IVA</b>	<b>5.297.919</b>

Nota: Período de amortización = 15 años a un interés = 7 %

Tabla 8.6.- Costes de inversión y operativos de la planta de gasificación de Lahti, Finlandia.

## 9.-VERTEDEROS

Tradicionalmente, la eliminación de residuos en vertedero ha constituido un procedimiento muy recurrido, de fácil explotación y utilizado de forma incontrolada. A medida que se ha incrementado la producción de residuos y la normativa se ha hecho más exigente, su uso es cada vez más restringido y con muchos mayores controles ambientales.

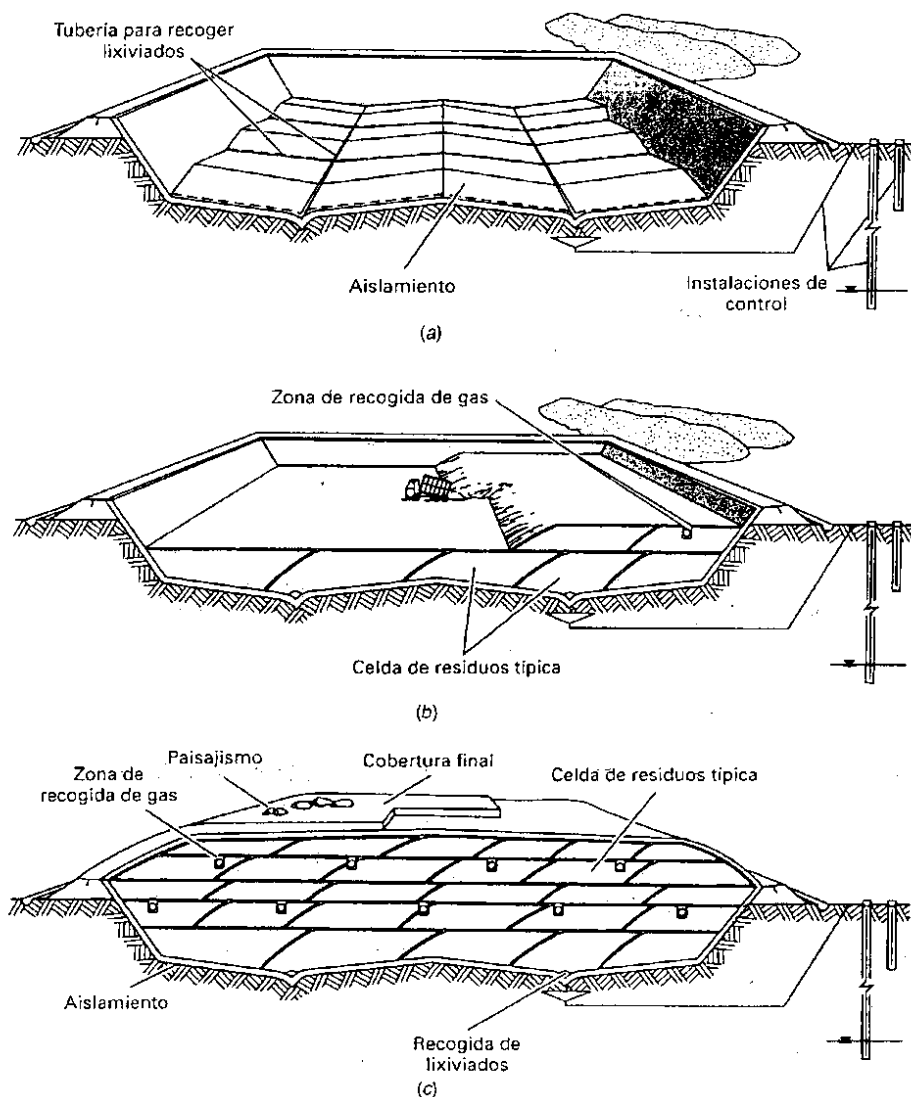
Según el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, se define el vertedero como una "instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en la superficie, por períodos de tiempo superior a un año en residuos no peligrosos y superior a seis meses para residuos peligrosos".

De acuerdo con este Real Decreto, un vertedero controlado es un almacenamiento con carácter definitivo de residuos en tierra, en el que se deben controlar y someter a seguimiento todos los aspectos ambientales al objeto de no afectar al entorno, y conseguir que los efectos ambientales sean mínimos. Los residuos pueden llegar en masa, pretratados, clasificados, en balas, incinerados... y allí son compactados por la maquinaria apropiada. También estaría incluida la posibilidad de almacenamiento subterráneo, opción no utilizada para residuos urbanos.

Un vertedero controlado o sanitario es fundamentalmente una obra de ingeniería con un diseño adecuado, que precisa de una impermeabilización correcta, acorde con el terreno donde se ubica, de conducciones para los lixiviados y los gases producidos en la descomposición de los residuos, los cuales deberán estar correctamente colocados y cubiertos con los materiales adecuados.

Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los materiales así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria.

Por lo tanto, el vertedero siempre es el último eslabón para todos los sistemas de tratamiento, ya que, incluso con la implantación de las técnicas de minimización de producción de residuos, de reciclaje y de transformación de los mismos, la evacuación de los residuos en vertederos controlados sigue siendo un elemento importante en el sistema de gestión de residuos.



Fuente: Tchobanoglous, 1996

Figura 9.1.- Fases de la operación de un vertedero

a) excavación y recubrimiento del vaso, b) llenado mediante la formación de celdas, y c) sellado.

### 9.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS VERTEDEROS CONTROLADOS

El Real Decreto 1481/2001, clasifica los vertederos en tres categorías: de residuos peligrosos, de residuos no peligrosos y de residuos inertes. Un vertedero puede clasificarse en más de una categoría, siempre que disponga de celdas independientes que cumplan los requisitos especificados en el Real Decreto.

- Vertederos de residuos peligrosos: se depositan residuos que representan un riesgo potencial para el medio ambiente y la salud, así como los recipientes y envases que los han contenido. Se excluyen de esta categoría los residuos que poseen un tratamiento legislativo propio (radiactivos, mineros, etc.). En función de la composición de estos residuos o de los lixiviados que puedan generar, en algunos casos será necesario realizar un tratamiento de estabilización o inertización previo a su vertido.
- Vertederos de residuos no peligrosos. Almacenan residuos urbanos además de otros de cualquier origen no incluidos en la lista de residuos peligrosos. También se admite el vertido de residuos peligrosos no reactivos estables, cuyo comportamiento de lixiviación no cambiará de forma adversa a largo plazo, ya sea por su biodegradación, por las condiciones ambientales o por el efecto de otros residuos
- Vertederos de residuos inertes, considerando “residuos inertes” aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. La cantidad y carga contaminante de los lixiviados producidos por estos residuos deberán ser insignificantes y no suponer riesgo para la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

### 9.2.- SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE VERTEDEROS

La ubicación de un vertedero es un complicado proceso en el cual su éxito depende de factores de diseño, impacto y valores comunitarios que deben considerar la combinación de parámetros sociales, medioambientales y técnicos, que a su vez supongan la minimización de costes, desde el punto de vista de su construcción y explotación.



- Geología e hidrogeología. Es quizás el condicionante más importante a los efectos de no dañar, a causa de los lixiviados, la calidad de las aguas subterráneas, acuíferos subsuperficiales o lechos de roca, además de reservas naturales de la zona.
- Ambientales. Los vertederos controlados se deben instalar en áreas con nulo o escaso interés ambiental, con escasa o nula vegetación y sin ningún tipo de protección de fauna y flora, arqueológica, geológica, paisajística, etc., estando especialmente prohibida su ubicación en espacios protegidos.
- Distancias a viviendas. Es absolutamente necesario cumplir y mantener, dentro de límites tolerables, las condiciones relativas a la seguridad e higiene públicas.
- Topografía. Se debe tener en cuenta la topografía local porque afectará al tipo de operación de vertido utilizada, a las necesidades de equipamiento y al trabajo necesario para hacer que el lugar sea utilizable.
- Disponibilidad del material de recubrimiento: es importante desde el punto de vista de la planificación de la explotación, especialmente por su importante peso en los costes asociados a ella.
- Accesibilidad: este punto es evidentemente necesario desde el punto de vista funcional, tiene además su dimensión económica puesto que siempre es posible realizar los accesos correspondientes en los casos en que no existan.
- Distancia de transporte: puede afectar significativamente al diseño y a la operación global de un sistema de gestión de residuos. Aunque son deseables distancias mínimas, como la localización de vertedero normalmente se determina por necesidades ambientales y políticas, el transporte a larga distancia actualmente es muy común
- Climatología. La influencia de este factor se produce sobre la planificación de la explotación, llegando a impedir en algunos casos la explotación del vertedero. En general convienen zonas con una pluviometría baja y con temperaturas máximas no muy altas ni mínimas muy bajas. Respecto al viento conviene zonas resguardadas y con vientos dominantes que no se dirijan a las zonas pobladas.
- Usos futuros del terreno. Una de las ventajas de un vertedero clausurado es que se dispone de una superficie grande de terreno para otros usos. Si la decisión sobre el uso futuro del vertedero se toma antes de iniciar la explotación, es posible planificar ésta para obtener una topografía final prefijada.

- Sociales. La presión social puede decidir la implantación o no de un vertedero. Por tanto, el punto de vista ciudadano ha de ser incorporado en la toma de decisiones, mediante un amplio proceso de información pública.
- Riesgo de inundaciones, hundimientos, corrimientos de tierras o aludes en el emplazamiento del vertedero, además de la protección del patrimonio natural o cultural de la zona.

### 9.3- IMPERMEABILIZACIÓN DEL VASO DE VERTIDO Y DRENAJE EXTERIOR

Según el Real Decreto 1481/2001, todo vertedero deberá estar situado y diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados.

Se debe controlar el agua de las precipitaciones no penetre en el vaso del vertedero, impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos vertidos; recoger y controlar las aguas contaminadas y los lixiviados del vertedero de forma que se cumpla la norma adecuada requerida para su vertido.

La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales durante la fase activa o de explotación del vertedero se conseguirá mediante la combinación de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de residuos y un sistema de recogida de lixiviados.

Existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un vertedero tienen la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas. Esto se consigue cuando la base y los lados del vertedero disponen de una capa mineral con unas condiciones de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado sea por lo menos equivalente al derivado de los requisitos siguientes:

- Vertederos para residuos peligrosos:  $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; espesor  $\geq 5$  m.
- Vertederos para residuos no peligrosos:  $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s; espesor  $\geq 1$  m.
- Vertederos para residuos inertes:  $k \leq 1,0 \times 10^{-7}$  m/s; espesor  $\geq 1$  m.

Si la barrera geológica natural no cumple estas condiciones, deberá complementarse con una barrera geológica artificial, consistente en una capa mineral de un espesor no inferior a 0,5m.

Las barreras de protección mínimas que se dispondrán en los vertederos bajo la masa de residuos y las condiciones mínimas a exigir a dichas barreras se muestran en las siguientes figuras:

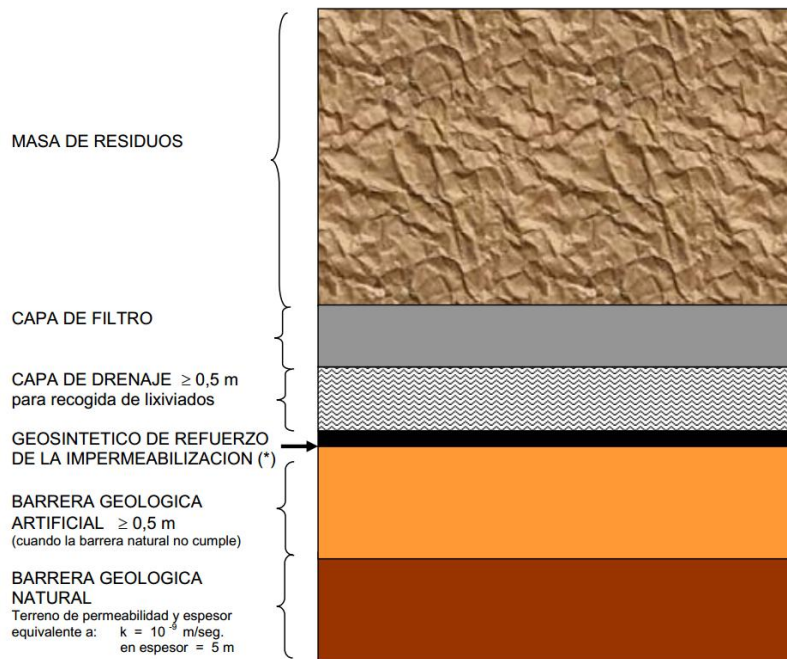


Figura 9.2.- Impermeabilización en vertederos de residuos peligrosos

(\*) Se dispondrá un geotextil protector encima del geosintético de refuerzo.

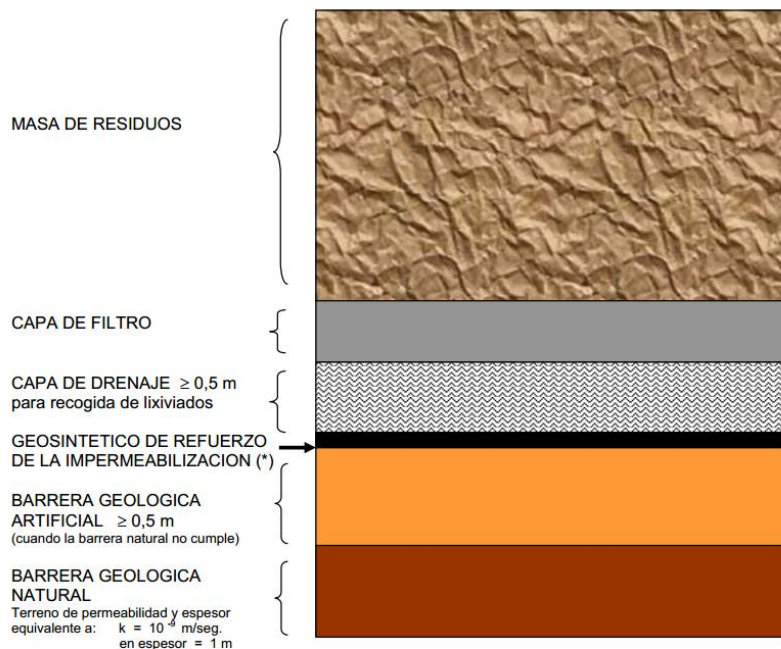


Figura 9.3.- Impermeabilización en vertedero de residuos no peligrosos

(\*) Se dispondrá un geotextil protector encima del geosintético de refuerzo.





Figura 9.4.- Impermeabilización en vertederos de residuos inertes

La finalidad del sistema de drenaje exterior es evitar que las aguas superficiales debidas a la escorrentía de lluvias entren en el vaso y, por tanto, en contacto con los residuos vertidos. Para conseguir este objetivo pueden utilizarse, conjunta o separadamente, dos sistemas:

- 1.- Canalización de las aguas provenientes de vertiente arriba del vertedero. Este caso es muy usual cuando se utiliza un barranco como vertedero. La infraestructura utilizada suele conocerse como entubado. Consiste en la colocación de un tubo siguiendo el fondo del barranco. El diámetro del tubo se calcula teniendo en cuenta el caudal a evacuar. El espesor del tubo se calcula teniendo en cuenta el espesor de los residuos a soportar y las características y peso de los vehículos que vayan a circular sobre el tubo.
- 2.- Recogida de las aguas de escorrentía procedentes de las laderas que rodeen al vertedero y que puedan entrar en contacto con los residuos en fase de vertido realizando cunetas perimetrales que por rodear la zona de vertido impiden la penetración en ellas de las aguas de escorrentía y las conducen en una dirección de desagüe adecuada.

#### 9.4.- PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL LIXIVIADO

El lixiviado se genera como resultado de degradaciones microbianas, procesos de solución/precipitación de constituyentes y reacciones de absorción/deserción producidos en la descomposición de la fracción orgánica y putrescible de los residuos y acentuados por la percolación del agua debido a las precipitaciones, la escorrentía y la infiltración o entrada de aguas subterráneas. Una de las características de los lixiviados es su fluctuación, tanto en cantidad producida, como en la composición de los mismos, algo que dificulta su tratamiento.

##### 9.4.1.- Características y composición del lixiviado

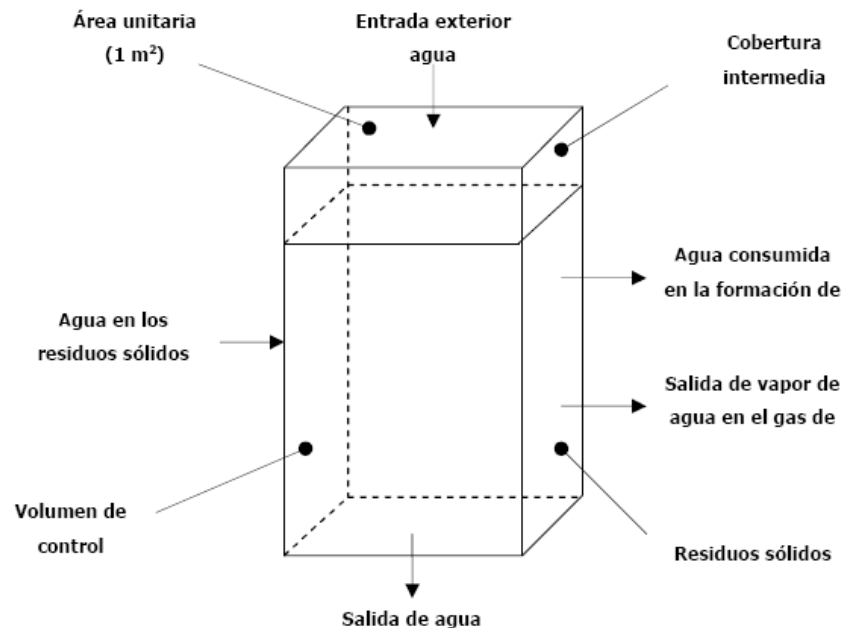
La cantidad y composición del lixiviado depende, de la composición y densidad de los residuos, la edad del vertedero, hidrología del lugar, climatología y tipo de explotación.

CONSTITUYENTE	VALOR (mg/l) <small>excepto pH</small>		
	VERTEDERO NUEVO (menos de 2 años)		VERTEDERO MADURO (más de 10 años)
	Rango	Típico	Rango
DBO <sub>5</sub>	2000-30000	10000	100-200
COT	1500-20000	6000	80-160
DQO	3000-60000	18000	100-500
SST	200-2000	500	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	200	90-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	1000-10000	3000	200-1000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	300-10000	3500	200-500
Calcio	200-3000	1000	100-400
Magnesio	50-1500	250	50-200
Potasio	200-1000	300	50-400
Sodio	200-2500	500	100-200
Cloro	200-3000	500	100-400
Sulfatos	50-1000	300	20-50
Total Hierro	50-1200	60	20-200

Fuente: Tchobanoglous, 1996

Tabla 9.1.- Datos típicos sobre la composición de los lixiviados

El potencial de formación del lixiviado puede valorarse mediante la preparación de un balance hidrológico del vertedero que implica la suma de todas las cantidades de agua que entran en el vertedero y la sustracción de las cantidades consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua. La cantidad potencial del lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad del material del vertedero.



Fuente: Tchobanoglous, 1996

Figura 9.5.- Volumen de control

#### 9.4.2.- Descripción del sistema de captación y almacenamiento de lixiviados

El Real Decreto 1481/2001 establece la necesidad de recoger las aguas contaminadas y los lixiviados, teniendo en cuenta las características del vertedero y las condiciones meteorológicas. Para ello se diseñará un sistema de drenaje y evacuación de los lixiviados, así como un sistema de almacenamiento previo a su tratamiento.

#### 1. Capa drenante

Una vez colocado el revestimiento artificial, se dispondrá una capa drenante de un grosor mínimo de 50 cm. y una permeabilidad  $\geq 10^{-2}$  m/s según el borrador del Desarrollo Técnico del Real

Decreto 1481/2001; o de al menos 30 cm de espesor con una permeabilidad comprendida entre  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  m/s según la “Guía de buenas prácticas en la ingeniería de vertederos” (1994); o 30 cm y permeabilidad de  $10^{-1}$  m/s

Los materiales de este nivel drenante pueden variar según su disponibilidad y coste, pudiendo utilizarse gravas, material geosintético, e incluso de tierra con bajo contenido en nutrientes.

## **2. Materiales geosintéticos de drenaje**

En casos excepcionales, la autoridad competente puede autorizar soluciones de diseño distintas de la de referencia, planteando en los taludes del vertedero la colocación de geocompuestos de drenaje, siempre que tengan adecuada capacidad de drenaje y no presenten riesgos de colmatación. Se tendrá en cuenta la presión vertical sobre el geocompuesto cuando se evalúe la capacidad hidráulica, así como la potencial precipitación de los efluentes en su interior, que supondrá una disminución de su capacidad hidráulica.

## **3. Tuberías de drenaje**

En el seno del nivel drenante, y sobre el fondo del vaso del depósito controlado, se instalará una red de tubos de drenaje que faciliten la evacuación de los lixiviados hacia un colector principal. Los tubos se colocarán en forma de espina de pez, de forma que sean capaces de recoger la mayor parte de los lixiviados generados en el vaso. El material con que esté fabricado el tubo garantizará que el sistema de drenaje no perderá su funcionalidad durante la vida útil del vertedero, debido a las acciones físicas, químicas o biológicas

Serán lisos con un diámetro mínimo de 20 cm según la NRA (Nacional Rivers Authority) (1995), de 10 cm según Tchobanoglous (1996) y 15 cm según el Desarrollo del Real Decreto 1481/2001.

Los tubos poseerán unas perforaciones contadas con láser sobre la mitad de la circunferencia, espaciados en 0,6 cm con tamaño de corte de 0,00025 cm., que es el tamaño más pequeño de la arena. Los tubos de recogida se cubrirán con una capa de arena de 60 cm antes de comenzar el vertido, donde la primera capa de residuos no se compactará

El diseño de los tubos contemplará la implantación de sistemas para inspección y mantenimiento, por ejemplo: pueden colocarse circuitos cerrados de televisión y control hidrométrico remoto para la inspección y limpieza en los trabajos de los tubos

La pendiente mínima de los sistemas de drenaje hacia el punto de evacuación de los lixiviados será del 2% (Glysson., 2003; NRA, 1995; Desarrollo Técnico del Real Decreto), del 3% (Guía de buenas prácticas en la Ingeniería de Vertederos, 1994) o entre 1,2-1,8% (Tchobanoglous, 1996) para que el desagüe por gravedad sea eficaz durante el periodo de operación y después del mismo. Éste podría ser superior según las necesidades del lugar.

#### **4. Tuberías de drenaje**

Llevarán los lixiviados procedentes de los sistemas de drenaje hasta la balsa de lixiviados o bien a pozos de registro de control. Sus características son las mismas que las especificadas anteriormente, sólo que serán conductos ciegos.

#### **5. Protección del drenaje**

Si fuese necesario se colocará una capa filtrante protectora, constituida por geotextil filtrante o por una capa de material granular fino. Se colocará sobre el sumidero de material de alta permeabilidad para prevenir la posible obstrucción física de materiales de grano fino. Las características principales de estos materiales serán

- Deberán ser químicamente resistentes al lixiviado.
- Los geotextiles deberán ser suficientemente resistentes para reforzar las aperturas de los materiales de drenaje a los que protegen.
- La resistencia al desgarramiento y a la perforación serán, al menos, el doble que las de las membranas a las que protegen.

#### **6. Capas de drenaje operacionales**

Estarán situadas sobre capas de cubrición operacionales. Su colocación será opcional, cuando se considere necesaria la captación de lixiviados en dichos niveles. En este caso es fundamental considerar los potenciales asientos del nivel de apoyo, que pueden afectar la operatividad del drenaje, así como la impermeabilidad de la barrera. Sus especificaciones serán las mismas que se han establecido. El espesor de estas capas de drenaje será como mínimo de 0,3 m.

## 7. Balsa de almacenamiento de lixiviados

Los lixiviados y todas las aguas que entren en contacto con los residuos se tratarán antes de su vertido de modo que cumplan los límites de vertido a cauce fijados en la autorización.

La red de captación de lixiviados conducirá éstos hasta una balsa de almacenamiento impermeabilizada de forma similar al vaso de vertido, de forma que garantice la protección del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas.

Los lixiviados recogidos deberán ser tratados en instalaciones exteriores al vertedero tras su transporte en camiones cuba, o bien eliminarlos "in situ" mediante:

- Reincorporación al vertedero, mediante regado con ellos de la capa exterior, para disminuir su cantidad por evaporación y aumentar la rapidez del proceso de fermentación.
- Depuración "in situ", lo cual exige la construcción de la correspondiente estación de tratamiento. Se produce un incremento tanto en el costo de la inversión inicial como en la explotación, debiéndose eliminar posteriormente los fangos resultantes del proceso.
- Almacenamiento en balsas de poco fondo (lagunas) para favorecer la evaporación natural. Es necesario eliminar posteriormente los fangos obtenidos.
- Solidificación por adsorción química. Este sistema permite obtener una materia inerte, similar a la tierra, que puede utilizarse como material de recubrimiento en el propio vertedero.

### 9.6.- PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL BIOGÁS

El término biogás incluye una mezcla de gases producidos a lo largo de las múltiples etapas del proceso de descomposición de la materia orgánica y en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos.

Los porcentajes reflejados en la Tabla varían en función, entre otros, de los siguientes factores:

- Composición del residuo vertido.
- Sistema de gestión del vertido de residuos.
- La geometría del vaso receptor
- Edad del vertido y condiciones climatológicas de la zona.

Componente	Porcentaje (%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	45-60
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	40-60
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	2-5
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	0,1-1,0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos...	0-1,0
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0,1-1,0
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0-0,2
Monóxido de carbono (CO)	0-0,2
Constituyentes en cantidades traza	0,01-0,6

Tabla 9.2.- Componentes principales del biogás Fuente: Tchobanoglous, 1996

### 9.6.1.- Problemas derivados de la generación de biogás en vertederos

- Afecta a la seguridad e higiene de trabajadores y población aledaña al vertedero. Esta afección puede ser únicamente una molestia, como los olores, o un riesgo serio para la salud, debido principalmente al riesgo de incendio y explosión, y a los efectos tóxicos de algunos de sus componentes, y también al riesgo de asfixia.
- Influye en el desarrollo de la vegetación, tanto en el vertedero como en terrenos colindantes. Los daños en la vegetación pueden ser en forma de clorosis, defoliación y pérdida de ramaje, o en crecimiento enano de la vegetación, desarrollo superficial de las raíces y hasta la muerte de la vegetación en casos severos.
- Efecto sobre el medio ambiente global: se calcula que entre un 6 y un 13% del metano emitido a la atmósfera tiene su origen en los vertederos.
- Estos problemas conducen a que la eliminación controlada del biogás sea necesaria para que un depósito de rechazos merezca ser considerado como realmente controlado y, por esta razón, las diferentes legislaciones han ido exigiendo, cada vez de una manera más

estricta, la incorporación de la extracción y tratamiento controlado del biogás a la gestión de los depósitos de rechazos.

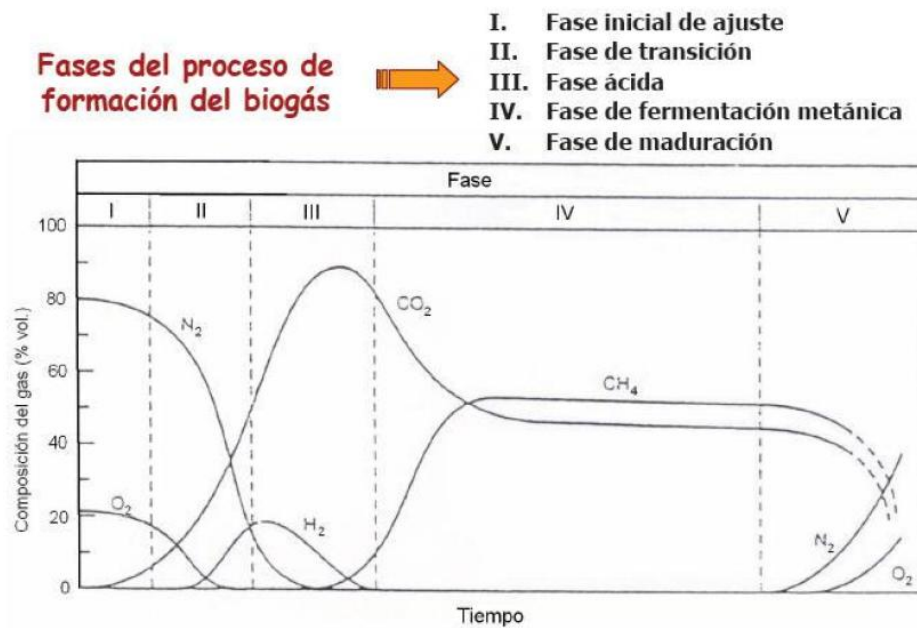
#### 9.6.2.- Formación de biogás: etapas de la degradación anaerobia

- Fase I de ajuste inicial, en la que los componentes orgánicos biodegradables sufren descomposición microbiana. Se produce descomposición biológica bajo condiciones aerobias, porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro del vertedero.
- Fase II de transición donde desciende el oxígeno y comienzan a desarrollarse condiciones anaerobias. El pH comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> dentro del vertedero.
- Fase III ácida. Se acelera la actividad microbiana con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. La demanda de bioquímica de oxígeno (DOB<sub>5</sub>), la demanda de oxígeno (DOQ) y la conductividad del lixiviado se incrementará debido a la disolución de ácidos orgánicos en el lixiviado.
- Fase IV de fermentación del metano, donde los microorganismos convierten el ácido acético y el gas de hidrógeno producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. El pH del vertedero subirá a valores más neutros (6,8 a 8) y se reducirán las concentraciones de DOB<sub>5</sub> y DOQ y el valor de conductividad del lixiviado.
- Fase V de maduración en cual la velocidad de generación del gas de vertedero disminuye, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores.

La reacción química generalizada para la descomposición anaerobia de residuos sólidos puede escribirse de la forma siguiente:







Fuente: Tchobanoglous, 1996

Figura 9.6.- Fases del proceso de la formación del biogás en un depósito controlado

### 9.6.3.- Sistemas de captación de biogás

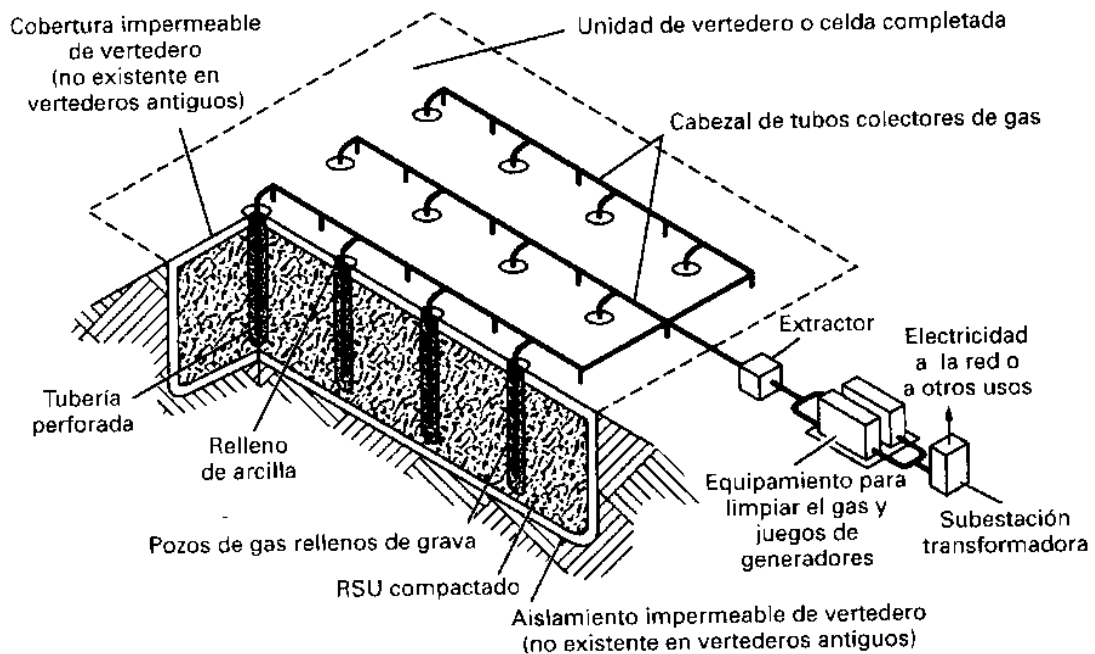
Los compuestos gaseosos mayoritarios producidos en un vertedero son: anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{SH}_2$ ).

Dependiendo de la cantidad de residuos orgánicos biodegradables depositados en el vertedero la producción de gases puede ser importante y también larga. Este biogás puede emerger por fisuras del terreno por lo que es imprescindible la salida controlada y la recogida del mismo. De esta manera se evita su acumulación en espacios cerrados, con el consiguiente peligro de explosión y de incendio y se evita, por otra parte su salida a la atmósfera, dado que el metano es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero.

La particular composición del biogás hace que su aprovechamiento como tal presente muchas dificultades, por lo que se suele utilizar como combustible en turbinas de gas para generar energía eléctrica o como combustible para las propias instalaciones del vertedero o industrias cercanas.

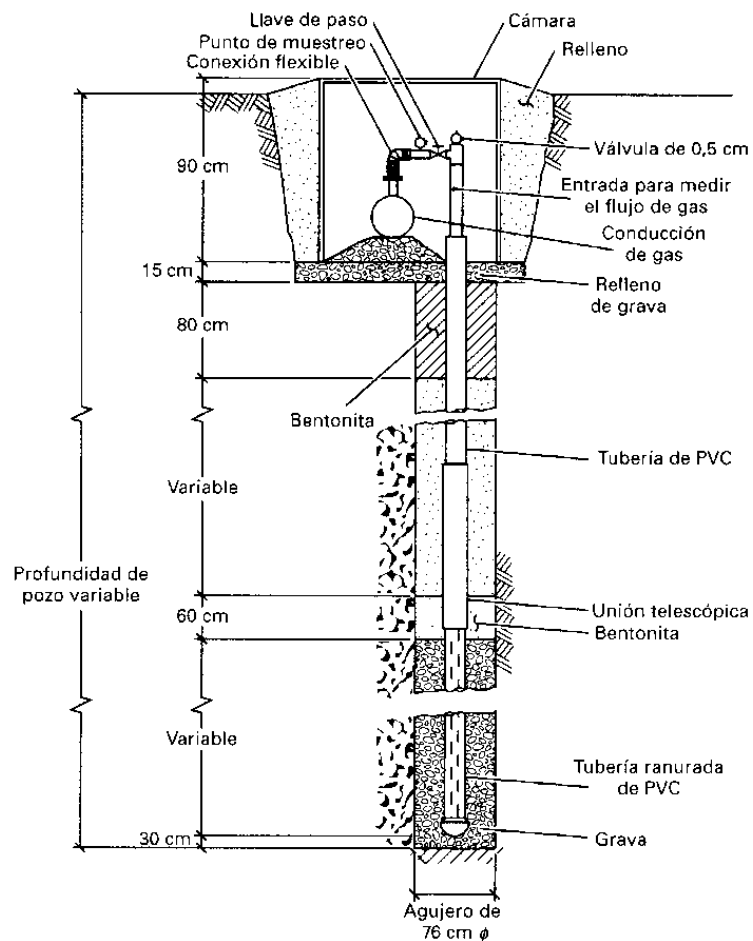
La protección frente a las emanaciones de metano se obtiene forzando su salida para ser recogido y conducido hasta una antorcha para ser quemado o para su posterior reutilización tal y como recoge el R.D. 1481/2.001. Las infraestructuras básicas para la recogida de los gases producidos son:

- Impermeabilización total de las paredes del vertedero con lo que los gases se ven obligados a pasar a los pozos de extracción. La impermeabilización es previa al comienzo de la explotación, pudiendo utilizarse alguno de los sistemas anteriormente indicados.
- Construcción de los pozos de extracción de gases conocidos como chimeneas de desgasificación, que atraviesen la masa de residuos. Estas chimeneas pueden ser desde simples huecos rellenos de grava, hasta tuberías ranuradas rellenas de material poroso con bombas de extracción forzada. El gas extraído puede ser conducido posteriormente por una red de tuberías hasta una antorcha donde se quema, o si la producción es suficiente, se puede utilizar como combustible en turbinas de gas para generar energía eléctrica o combustible para las propias instalaciones del vertedero.



Fuente: Tchobanoglous, 1996

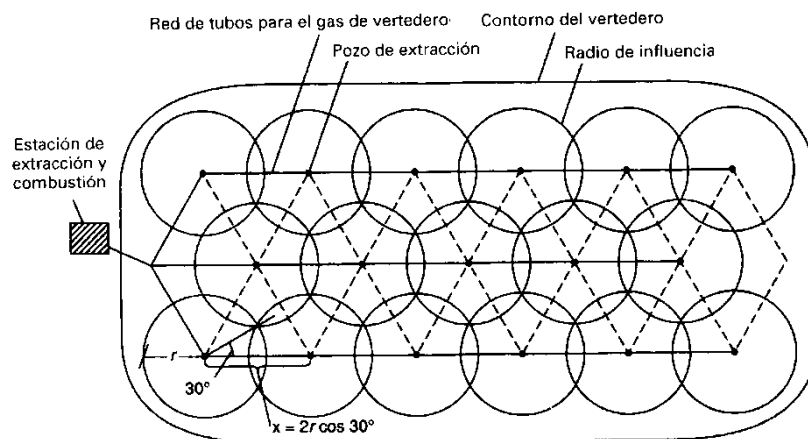
Figura 9.7.- Sistema de recuperación del gas mediante chimeneas verticales



Fuente: Tchobanoglous, 1996

Figura 9.8.- Esquema de chimenea de desgasificación

La particular composición del biogás hace que su aprovechamiento como tal presente dificultades técnicas, no obstante, en vertederos de grandes dimensiones resulta rentable su aprovechamiento. En España es relativamente frecuente este aprovechamiento energético en la zona norte, destacando el caso de Asturias, donde el biogás producido en el vertedero único para todo el principado, se utiliza como combustible para generar energía eléctrica suficiente para abastecer, tanto al resto de instalaciones de tratamiento de residuos, como para la venta a la compañía eléctrica.



Fuente: Tchobanoglous, 1996

Figura 9.9.- Esquema de distribución de chimeneas de desgasificación

### 9.7.- SELLADO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE VERTEDEROS

El destino final y la forma de recuperación han de planificarse ya en el proyecto de vertedero, adecuando la explotación al plan de sellado y uso posterior del mismo.

Se denomina sellado al conjunto de operaciones necesarias para adecuar un vertedero controlado a su uso definitivo. Generalmente el sellado comporta las siguientes operaciones:

- 1.- Compactación y cubrición de la capa final de residuos
- 2.- Colocación de los sistemas de evacuación de gases, y chimeneas de desgasificación.
- 3.- Aportación de la capa final de cobertura con un mínimo de 70 a 100 cm de grosor.
- 4.- Colocación de una barrera impermeable de arcilla compactada o bien artificial con láminas de polietileno de alta densidad (PEAD), y por encima de ésta un sistema drenante, utilizando tubos dren situados sobre un lecho de arena o grava de 15 a 20 cm de espesor. La finalidad de este sistema es evitar que el agua infiltrada alcance la masa residual vertida y efectúe su lavado y evitar que por capilaridad, los contaminantes presentes en las basuras puedan ascender hasta alcanzar la capa vegetal, afectando tanto a la vegetación implantada como a las aguas superficiales, contaminándolas.
- 5.- Aportación de la tierra vegetal necesaria para la cobertura final que permita el desarrollo de las plantaciones deseadas. En los pocos casos en que el uso posterior del vertedero no exija la implantación de una cubierta vegetal esta fase no será necesaria.

6. Implantación definitiva de la vegetación deseada o realización de las obras de infraestructura necesarias en los casos en que el final no conlleve la implantación de una cubierta vegetal.

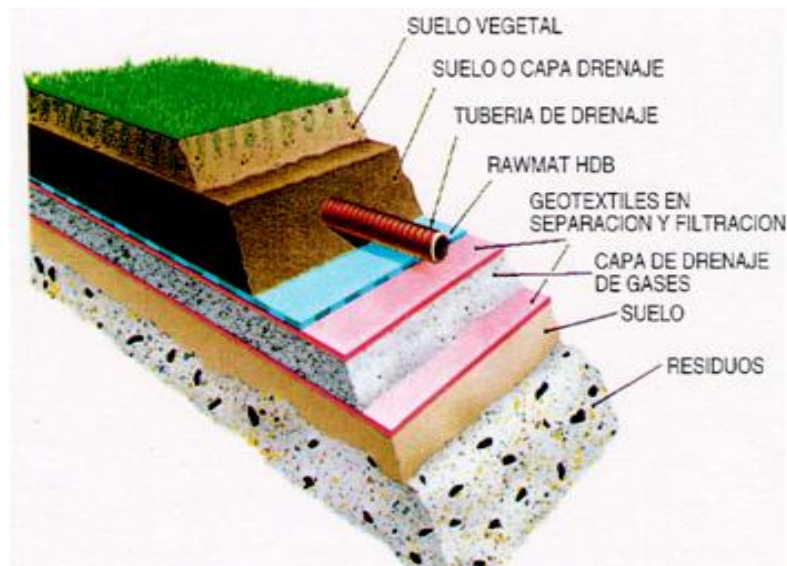
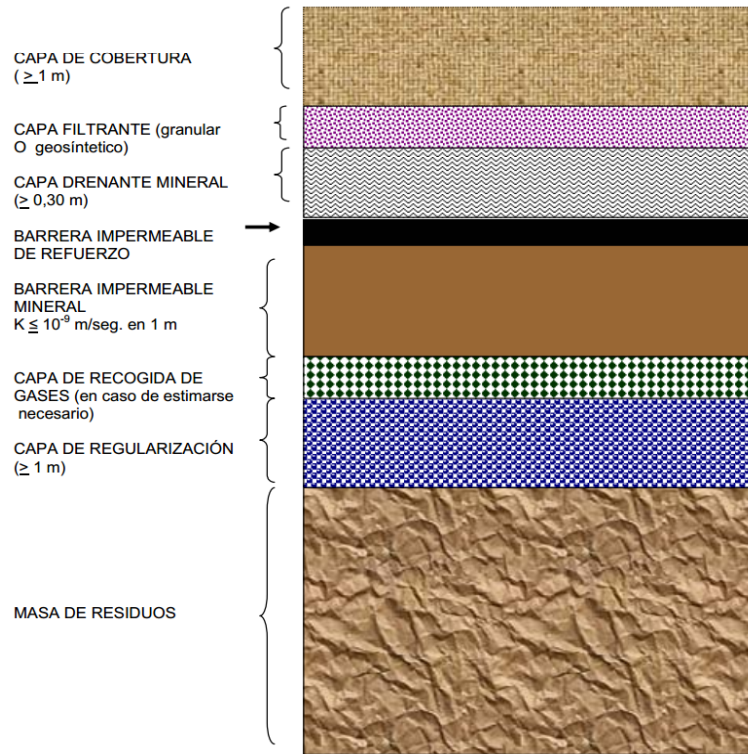


Figura 9.10.- Capa de sellado de un vertedero de residuos peligrosos

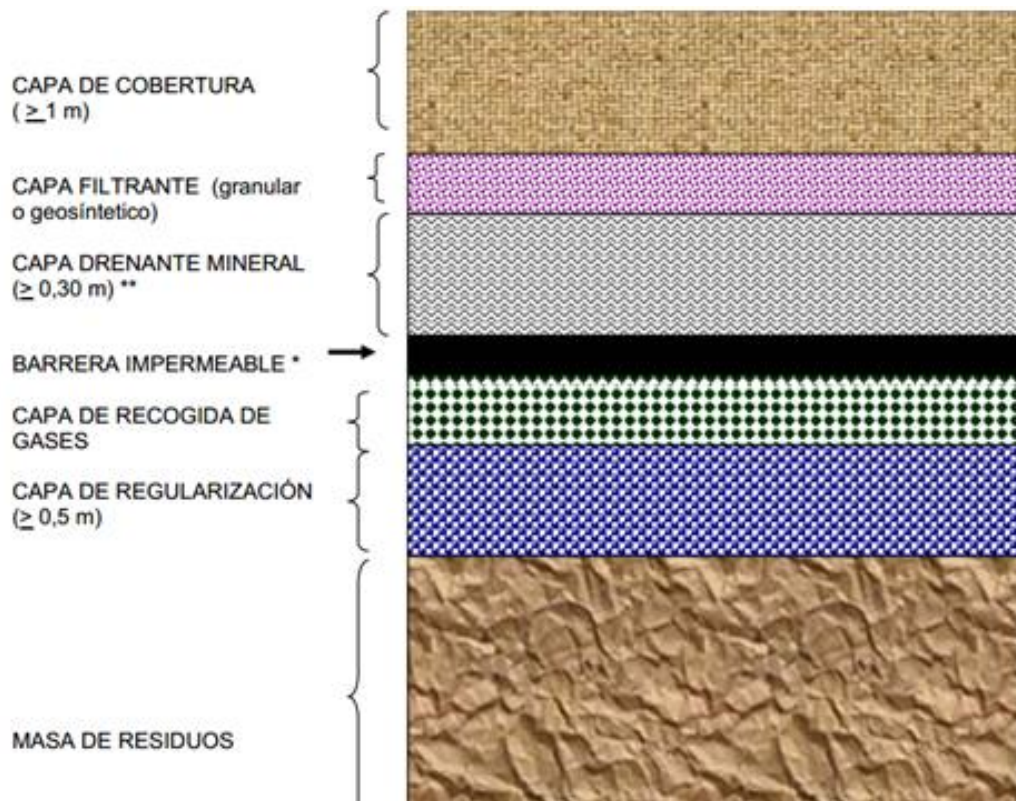


Figura 9.11.- Capa de sellado de un vertedero de residuos no peligrosos

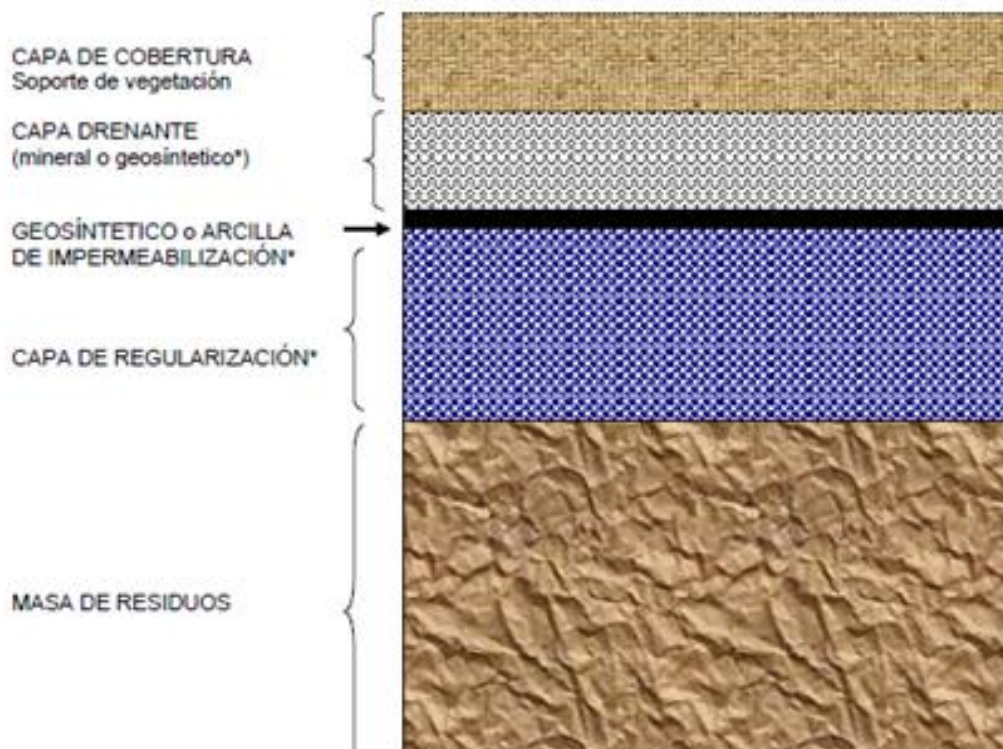


Figura 9.12.- Capa de sellado de un vertedero de residuos inertes

### 9.8.- CONTROL AMBIENTAL DURANTE LAS FASES DE EXPLOTACIÓN Y POSTCLAUSURA

Control de datos meteorológicos, bien en estación propia o la más cercana:

	<b>Explotación</b>	<b>Mantenimiento posterior</b>
Volumen de precipitación	Diario	Diario, más valores mensuales
Temperatura mín, max y 14,00 H	Diario	Media mensual
Dirección y fuerza del viento dominante	Diario	No se exige
Evaporación con lisímetro	Diario	Diario, más valores mensuales
Humedad 14,00 H	Diario	Media mensual

Control de aguas superficiales, si las hay, lixiviados, gases (como mínimo CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y si procede H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, etc) y aguas subterráneas (pH, COT, fenoles, metales pesados, fluoruro, arsénico e hidrocarburos).

	<b>Explotación</b>	<b>Mantenimiento posterior</b>
Volumen lixiviados	Mensual	Semestral
Composición lixiviados	Trimestral	Semestral
Volumen y composición de aguas superficiales	Trimestral	Semestral
Emisiones de gas y presión atmosférica	Mensual	Semestral
Nivel aguas subterráneas	Semestral	Semestral
Composición aguas subterráneas	Frecuencia específica del lugar	Frecuencia específica del lugar

	<b>Explotación</b>	<b>Mantenimiento posterior</b>
Estructura del vaso *	Anual	-
Comportamiento del asentamiento	Anual	Anual

\* Superficie ocupada, volumen y composición de los residuos, métodos de depósito, tiempo y duración del depósito y cálculo de la capacidad restante disponible.

## 10.- ECOPARQUES

Un ecoparque es una instalación, cerrada y controlada, de Recogida Selectiva de Residuos, dónde los ciudadanos del municipio puede depositar gratuitamente aquellos residuos que genera en su hogar y para los que no existen contenedores específicos en los sistemas de recogida tradicional. Podrán admitirse aquellos pequeños comercios, oficinas o servicios cuyos residuos sean asimilables al domiciliario.

Son una buena herramienta local para el cuidado del medio ambiente puesto que son de acceso libre y gratuito, se evita la contaminación de los suelos por el abandono de residuos y en ellos encontramos diferentes contenedores para depositar nuestros residuos separándolos correctamente para su posterior reciclaje.

Llevando los residuos al ecoparque, se evita el vertido incontrolado, se reduce el volumen de basura que termina en un vertedero, se ahorran materias primas y energía al reciclar y se ayuda al tratamiento adecuado de todos los residuos. De este modo favorece que aquellos residuos que no se pueden evitar, dejen de ser un problema para el medio ambiente.

Una vez retirados los residuos del ecoparque, son trasladados a plantas donde los materiales aprovechables son reciclados y convertidos en nuevas materias primas con lo que se consigue un ahorro importante de recursos naturales y energía, además de evitar que acaben en un vertedero y la aparición de vertederos incontrolados.

Aquellos productos de especial peligrosidad como aceites, radiografías o medicamentos son tratados previamente a su recuperación o eliminación con el fin de evitar problemas medioambientales y de salud. Únicamente las fracciones que no son aprovechables se llevan a vertederos controlados.

### Legislación:

- La construcción, ampliación o modificación de las instalaciones queda sometida a licencia ambiental y de apertura, así como a licencia de edificación a otorgar por el Ayuntamiento.
- La titularidad de la instalación será siempre de la entidad local o del Consorcio correspondiente, al ser el servicio prestado público y de titularidad municipal.



- La Administración Pública Titular podrá realizar las actividades de gestión de residuos urbanos, bien directamente o mediante cualquier otra forma de gestión prevista en la legislación sobre régimen local, previamente autorizada por la consellería competente en medio ambiente.
- Debido a que en estas instalaciones se realizan operaciones de gestión de residuos peligrosos, quedan sujetas a la previa formalización de un seguro de responsabilidad civil, que garantice la cobertura de responsabilidades derivadas de los posibles daños causados a terceras personas o el medio ambiente en la cuantía que se determine en la correspondiente autorización.
- Cada ecoparque deberá disponer de un Reglamento Interno de Uso y Gestión, basado en las especificaciones contenidas en la norma técnica.

#### **Residuos admisibles en un ecoparque:**

Los residuos urbanos o municipales considerándose como tales los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. Los derivados de actividades de mantenimiento a terceros efectuadas en dichos lugares tendrán la consideración de residuos urbanos o municipales, pudiendo el titular de la actividad de mantenimiento depositarlos en el ecoparque, siempre que se acompañe documento fehaciente que acredite la operación de mantenimiento efectuada.

#### **Residuos no admisibles en un ecoparque:**

- a) Residuos procedentes de la recogida selectiva de materia orgánica.
- b) Residuos industriales sanitarios y radioactivos
- c) Residuos generados por las actividades mineras o extractivas.
- d) Vehículos fuera de uso y residuos mezclados
- e) Materiales explosivos

### Forma de entrega de los residuos

Separados y clasificados por tipos, según las categorías de residuos admitidos en el ecoparque. Si el residuo está formado por más de un material, se intentará entregar desmontado en la medida de lo posible para poder depositar cada fracción en su contenedor correspondiente. Los cartones deberán depositarse plegados para que ocupen el mínimo espacio posible

### Tipos de ecoparque

ECOPARQUE	POBLACIÓN POTENCIAL	DISPOSICIÓN	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	NÚMERO CONTENEDORES	TAMAÑO CONTENEDORES
TIPO A	Hasta 1.000	1 cota	300-500	4-6	9 m <sup>3</sup>
TIPO B	1.001 – 5.000	1 cota	500-1.000	6-8	9/18 m <sup>3</sup>
TIPO C	5.001- 10.000	2 cotas	1.500-3.000	8-10	18/26 m <sup>3</sup>
TIPO D	Más de 10.001	2 cotas	2.500-5.000	10-15	18/26 m <sup>3</sup>
Móvil	Según necesidades	---	(Camión)	---	Según gestores

### Ecoparque móvil

Se trata de un vehículo de recogida selectiva de residuos que actúa en diferentes zonas de la población con una periodicidad y un recorrido preestablecido. El vehículo vendrá equipado con un contenedor con distintos compartimentos para la recogida selectiva de los residuos. Este servicio deberá ser usado preferentemente para recoger residuos voluminosos y residuos peligrosos en zonas urbanas densas y en zonas rurales de baja densidad de población.

### Personal de instalación

Toda instalación dispondrá de una persona responsable durante el horario de apertura al público que se encargará del control de su funcionamiento, informará a los usuarios y vigilará que éstos hagan un buen uso de la misma, mantendrá un registro diario de entradas y salidas, organizará con los gestores autorizados la recogida de los residuos, y comunicará a la entidad gestora de las incidencias que observe.

## **Funcionamiento**

El responsable de la instalación supervisará la cantidad y composición de todos los residuos que se pretendan depositar, con la finalidad de comprobar que se trata de residuos admisibles. En caso de duda sobre la procedencia o naturaleza del residuo, podrá rechazarlo, haciéndolo constar en el libro de incidencias.

Los residuos peligrosos deberán ser depositados en los contenedores pertinentes, según las indicaciones específicas del personal de la instalación. Se velará para que los usuarios depositen el resto de residuos en los contenedores adecuados. En ningún caso se permitirá la retirada de residuos por parte de usuarios.

El personal de la instalación controlará periódicamente el estado de los contenedores y avisará a los gestores autorizados correspondientes para la retirada de los residuos con la periodicidad necesaria, antes de comprometer la capacidad del ecoparque. En ningún caso la frecuencia de retirada será superior a los 6 meses para los residuos peligrosos.

## **Gestión de los residuos depositados**

Incluirá las siguientes operaciones: recepción, clasificación, almacenamiento y entrega a gestor autorizado.

En las operaciones de gestión posteriores a la recepción del residuo se priorizará la reutilización a la valorización; y ésta a la eliminación mediante depósito en vertedero y siempre con criterios de proximidad al ecoparque. El responsable de la instalación llevará un registro diario en el que se consignen las entradas y salidas de residuos, especificando el tipo, cantidad, origen y destino, así como el nº del documento de control y seguimiento de residuos peligrosos.

El titular de la instalación deberá cumplimentar, antes del 1 de marzo de cada año, una memoria anual, con el resumen de las actividades realizadas en el año anterior, que será presentada ante el órgano competente en materia de residuos. En dicha memoria deberán distinguirse los diferentes orígenes de los residuos recogidos.

## 11.- DETERMINACIÓN DEL CANON DE GESTIÓN DE RSU

### 11.1.- INTRODUCCIÓN

A continuación se desarrolla una metodología para calcular los cánones de las instalaciones de gestión de residuos. Una vez establecidas las bases de cálculo, se realizará un ejercicio práctico en el que determinarán los cánones de un conjunto de instalaciones de tratamiento de residuos, así como sus variantes, fórmulas de revisión de precios y posibles compensaciones municipales.

Esta información se presenta adecuadamente justificada, detallando el procedimiento de determinación de los datos y señalando las hipótesis y estimaciones utilizadas así como los cálculos realizados para su obtención. El cálculo de los cánones debe basarse en la totalidad de las instalaciones de gestión de residuos consideradas, teniendo en cuenta en particular:

- Los parámetros relativos a toneladas a tratar de los distintos tipos residuos.
- Periodo de concesión de las instalaciones, vida útil y periodos de amortización de obra civil, instalaciones y equipos, ingresos accesorios, compensaciones mínimas municipales, costes de desmantelamiento final, y de mantenimiento post-clausura si procede.
- Los anteproyectos de las instalaciones y otras las inversiones necesarias.
- El plan de gestión y modelización del servicio ofrecido.
- Las estimaciones sobre necesidades de personal y sus costes para el adecuado funcionamiento de los servicios.
- Los costes necesarios de mantenimiento y funcionamiento de ordinario de las instalaciones y equipo, así como las posibles compensaciones a municipios.

Por tanto, la estructura de los siguientes apartados es la siguiente:

- En el apartado segundo se recogen los parámetros y estimaciones generales sobre las que se basarán los cálculos efectuados.
- En el apartado tercero se establece la necesidad de definir un modelo para la determinación de los costes de las actividades objeto de canon.
- En el apartado cuatro se describen las previsiones relativas a inversiones y costes por amortizaciones, personal y su imputación a los diferentes centros de actividad.
- En el apartado quinto se establecen los costes comunes.
- En el último apartado se realiza un ejercicio práctico.

## 11.2.- PARÁMETROS Y ESTIMACIONES GENERALES

La determinación del canon puede debe determinarse en función del tipo de residuos y de la metodología en su gestión. Este cálculo puede desarrollarse mediante el establecimiento justificado de una serie de parámetros que pueden o no concurrir en función del modelo de costes elegido.

### 1. Tipo de interés aplicado para el cálculo de amortizaciones financieras

El tipo de interés a aplicar para el cálculo de las amortizaciones financieras es el EURIBOR. Ha de considerarse un valor a fecha. Este tipo de interés se considera que es una buena estimación del coste de financiación medio de las inversiones a realizar.

### 2. Parámetros generales

- Porcentaje aplicado de costes generales, beneficio industrial e IVA (%)
- Coste electricidad, término potencia (€/kw/año) y término consumo (€/kw/h)
- Coste gasóleo A,B Y C (€/l)
- Vida útil por defecto de inversiones en terrenos y obra civil (años) ,por defecto de inversiones en equipamientos (años) y por defecto de inversiones en equipo móvil (años)
- Mantenimiento post-clausura de vertederos (años)
- % por reparaciones y mantenimiento de terrenos por defecto
- % por reparaciones y mantenimiento de equipo fijo y obra civil (planta, vertederos y resto de instalaciones .
- % por reparaciones y mantenimiento de equipo móvil
- Coste vestuario y equipo de seguridad (€/persona).

### 3. Porcentajes de recuperación de subproductos y residuos

Los porcentajes de recuperación de subproductos y residuos dependen del tipo de material de origen y de la eficiencia del tratamiento a efectuar. Deberán estimarse los porcentajes de recuperación de subproductos (vidrio, papel, PET, voluminosos...) en las instalaciones de tratamiento consideradas (planta de tratamiento de RSU, de RCD...)

#### **4. Coste de eliminación de residuos por gestores externos**

No se considera necesario estimar ningún coste de eliminación de residuos (pilas, pilas botón, fluorescentes y otros peligrosos) por gestores externos, puesto que en la actualidad dicha eliminación es gratuita al estar subvencionada por la Generalitat Valenciana.

#### **5. Ingresos unitarios por subproductos recuperados**

Es necesario tener en cuenta los ingresos previstos por tonelada de subproducto recuperado. Los precios de venta pueden considerarse a partir de estimaciones propias sobre precios de venta a recuperadores y la compensación de ECOEMBES se obtendrá del Diari oficial de la Comunitat Valenciana (DOGV).

#### **6. Parámetros y estimaciones relativas al personal**

Los costes de personal que se pueden utilizar parten de dos estimaciones:

- Parte relativa a costes estimados por categoría laboral
- Parte relativa al tiempo de trabajo anual efectivo de un empleado

Se considerarían las distintas categorías laborales del personal adscrito a los distintos servicios que se pueden contemplar, así como los costes anuales de seguridad social y seguros.

El coste anual se calculará teniendo en cuenta el convenio regulador correspondiente y la posibilidad de que el personal trabaje en horario o turno nocturno.

A efectos del cálculo de costes de personal, el estudio económico se puede basar en el número de personas equivalentes necesarias por cada puesto de trabajo, teniendo en cuenta datos como los días realmente trabajados, las horas de trabajo a la semana y el nº de empleados necesario por puesto de trabajo.

#### **7. Cantidades de residuos a tratar**

Para poder estimar los cánones a repercutir en el tratamiento de los residuos es necesario considerar las cantidades de residuos sobre las que se calculan dichos cánones.

## **8. Parámetros y estimaciones relativas al equipamiento móvil**

Se estimarían los costes de adquisición y seguros anuales de los vehículos a utilizar para la realización de las distintas actividades de gestión y tratamiento de residuos.

También se tendría en cuenta la previsión sobre costes anuales de mantenimiento y reparación de dicho equipamiento móvil suponiendo un coste anual del 10% del valor de adquisición. Y un coste por hora de utilización, en el caso de costes variables, para aquéllos de utilización variable. Finalmente, también habría que tener en cuenta las estimaciones de consumo de litros de gasóleo por km y por hora de utilización del distinto equipamiento móvil.

### **11.3.- EL MODELO DE COSTES**

Debe plasmar la realidad física de las instalaciones y de la metodología de gestión de RSU, pudiendo incluir, el proceso completo desde la producción del residuo hasta su eliminación final: producción, recogida, transporte, tratamiento, valorización, reutilización y reciclado y eliminación

El modelo de costes, debe considerar asimismo los posibles ingresos derivados de la venta de subproductos para su reciclado o reutilización posterior.

### **11.4.- COSTES ASOCIADOS A LAS INSTALACIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS**

Para calcular los cánones a repercutir es necesario conocer las estimaciones de inversiones y costes de amortización de las instalaciones, así como los parámetros y estimaciones específicas realizadas en relación al personal y sus costes y al resto de costes de funcionamiento de cada instalación.

Dentro de cada una de las instalaciones se pueden incluir diferentes centros de gestión, en función de los tipos de residuos tratados. También se incluyen las inversiones en servicios centrales y las comunes a todas las instalaciones consideradas.

Una vez determinadas las actividades que se realizan en cada instalación, y que repercuten en cada uno de los cánones de residuos a calcular, los costes incurridos en estas instalaciones deberán ser objeto de asignación entre las distintas actividades realizadas en las mismas al efecto de poder calcular de forma correcta los cánones para la recuperación de los costes.

### **Inversiones y amortizaciones**

Para cada una de las instalaciones, se determinarán las inversiones previstas, clasificadas por naturaleza y uso, con indicación del año de inversión y vida útil de las mismas. Se tendrán en cuenta igualmente los años en que se procederá a las inversiones o reinversiones, las amortizaciones y el tipo de interés, ya comentado en apartados anteriores. Las inversiones previstas pueden ser las relativas a terrenos, obra civil y equipamiento fijo y móvil.

### **Personal**

Se diferenciarán las áreas de trabajo en función de los residuos a tratar. Será necesario distinguir entre el personal fijo y el variable, según si el número de horas de trabajo de personal depende o no de las toneladas de residuos a tratar.

El coste del personal fijo se calculará en función de la categoría del empleado, los turnos de trabajo, el nº de personas necesarias por puesto y el coste anual de cada uno de ellos, como se ha comentado en un apartado anterior.

En relación al personal variable, el coste por hora de trabajo se ha calculado teniendo en cuenta:

- El nº de puestos de trabajo por hora y por función necesarios
- Las horas efectivas de trabajo anual por empleado, y en consecuencia los trabajadores equivalentes, y
- El coste por persona de cada categoría laboral

Los costes variables totales de personal serán diferentes cada año según la cantidad de residuos tratados, dado que son éstos los que determinan el tiempo de trabajo de las instalaciones, de acuerdo a las estimaciones de capacidad en t/hora consideradas y, por tanto, al personal equivalente necesario para tratarlas.

### **Costes de funcionamiento e ingresos**

En relación a los costes, se distinguirán entre fijos (no dependientes de las toneladas tratadas) y variables (dependientes de las toneladas tratadas).

Costes fijos de funcionamiento: de las instalaciones consideradas, como reparaciones y mantenimiento, seguros de vehículos, costes fijos de suministros, seguros...

Pueden estar relacionados directamente con una actividad concreta o pueden ser comunes a varias de ellas, por lo que se precisa aplicar criterios de asignación a los mismos.



Costes variables de funcionamiento; en el cálculo de estos costes, se aplicarán criterios particulares en función de cada instalación, además de los considerados en el apartado de parámetros generales. Serán distintos cada año según la cantidad de residuos a tratar u horas de trabajo y teniendo en cuenta las estimaciones de capacidad de trabajo de las instalaciones.

Ingresos: el tratamiento y valorización de residuos no genera ingresos fijos, sino que todos ellos serán variables. Además de los cánones correspondientes, se deben estimar los ingresos provenientes de la venta de subproductos. La selección y triaje de los RSU permite obtener distintos subproductos, algunos de los cuales son susceptibles de producir ingresos. La estimación de los ingresos por tonelada se basa en los precios de venta y compensaciones de ECOEMBES.

Dada la incertidumbre existente en cuanto a los precios aplicables, así como en las condiciones y características del subproducto obtenido, se puede considerar que un 80% del total de subproductos obtenidos será susceptible de producir ingresos.

#### **Imputación de costes a actividades objeto de canon**

El procedimiento y criterios para el cálculo de costes correspondientes a cada actividad objeto de canon, se basa en las estimaciones de costes por centro de actividad, realizadas en los epígrafes anteriores, y teniendo en cuenta la identificación de los costes por actividades realizadas en dichos centros. Lógicamente, aquellos costes directamente relacionados con una actividad concreta se imputarán íntegramente a la misma, tanto si son fijos como variables.

A cada uno de los centros de costes se imputará un porcentaje de cada uno de los residuos tratados en función de las inversiones requeridas en las instalaciones y equipamiento fijo destinado a este fin, a la cantidad de toneladas tratadas cada año y a la propia composición de los residuos y sus necesidades de tratamiento.

#### **11.5.- SERVICIOS CENTRALES Y/O COMUNES**

- Costes de terrenos ocupados y obra civil construida destinada a actividades o usos de carácter general tales como urbanización del conjunto, viales, aparcamientos, etc.

- Obra civil de construcciones tales como el vestuario y comedor de empleados, el aula medioambiental, las oficinas administrativas y comerciales, báscula de pesaje, etc.
- También se puede incluir el Servicio de Mantenimiento general en la consideración de su uso en las distintas actividades de todos los centros de coste.

Estos costes no corresponden a la realización de ninguna actividad objeto de canon concreta, sino que posibilitan todas ellas. Se trata de costes tanto por amortizaciones de inversiones, como de personal y gastos de funcionamiento cuyo objetivo es permitir la realización del conjunto de actividades objeto de la concesión además de la gestión administrativa, financiera, comercial, etc.

También se podrían incluir dentro de esta categoría los gastos de constitución y primer establecimiento de la sociedad que, de resultar elegida en un proceso de concesión, se encargaría de la gestión, las campañas de concienciación medioambiental, tasas y tributos, servicios bancarios, auditorías medioambientales, etc.

#### **Imputación de costes a actividades objeto de canon**

El coste anual medio correspondiente a Servicios Centrales será distribuido entre todas las actividades objeto de canon utilizando porcentajes basados en una estimación sobre los requerimientos de recursos comunes que conlleva cada una de dichas actividades, teniendo en cuenta la naturaleza de las mismas y su complejidad, número de instalaciones a gestionar, tonelajes a tratar, el personal dedicado a cada una de ellas, las tareas de mantenimiento necesarias, las labores de gestión administrativa o de control, etc.

## **12.- GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE VALENCIA**

### **12.1.-LA EMTRE: COMPETENCIAS Y ÁMBITO TERRITORIAL**

La Entidad Metropolitana para el Tratamiento de Residuos es una entidad Local de utilidad pública y de carácter supramunicipal, creada por el Gobierno valenciano mediante Ley 2/2001 del 11 de mayo de creación y gestión de áreas metropolitanas de la Comunidad Valenciana.

Su competencia básica es la prestación de los servicios de valoración y eliminación de Residuos Urbanos, de acuerdo con los objetivos marcados por la Generalitat, a través de la normativa sectorial y de conformidad con los instrumentos de planificación en ella previstos.

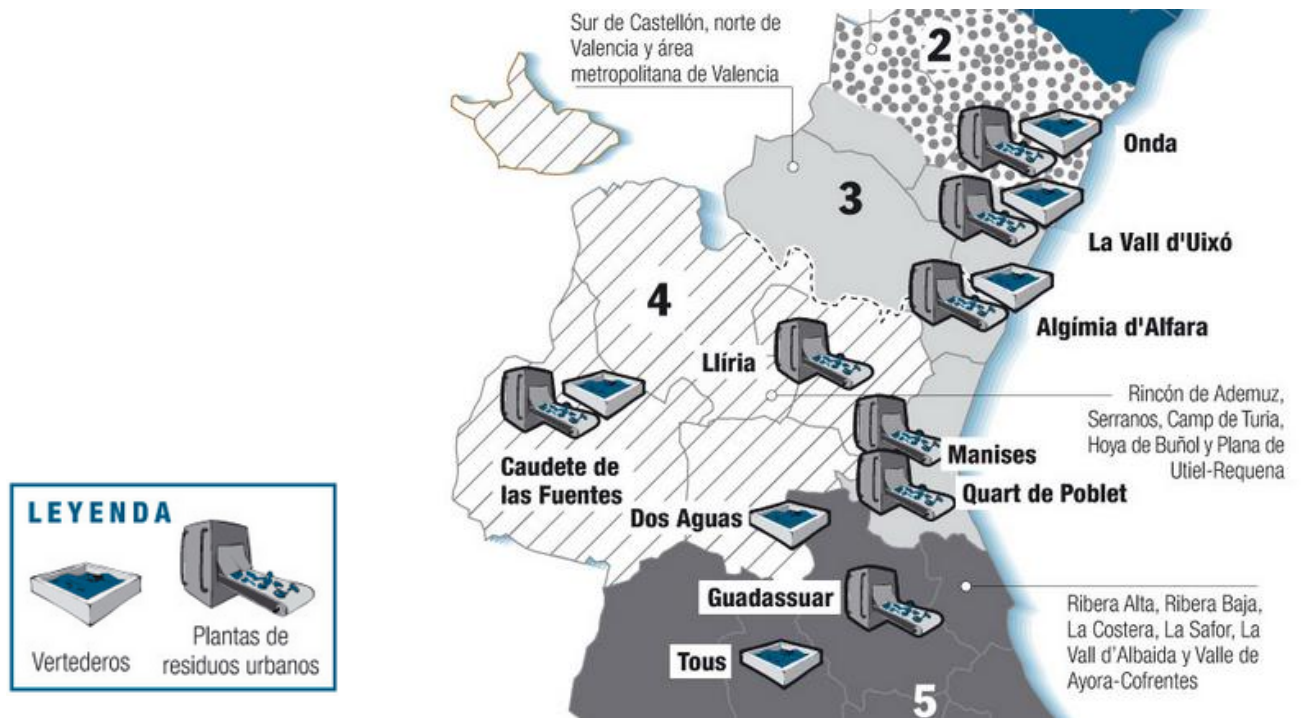


Figura 12.1.- Instalaciones de gestión de RSU gestionadas por EMTRE

El Área Metropolitana de Valencia está conformada por la capital y los 44 municipios de sus alrededores, habitando en ella aproximadamente 1.500.000 habitantes

La planificación autonómica en materia de residuos específica establece que para este ámbito geográfico, la Entidad Metropolitana debe disponer de las siguientes instalaciones, o Proyectos de Gestión, con estas previsiones:

	Planta de Valorización de Residuos Urbanos	Planta de Eliminación de Rechazos
Capacidad	400.000 ton/año	5.600.000 m <sup>3</sup>
Denominación	Instalación 1	Instalación 2
Capacidad	250.000-350.000	3.450.000 m <sup>3</sup>
Denominación	Instalación 3	Instalación 3

Tabla 9.3.-Planificación autonómica en materia de residuos

## 12.2.-INSTALACIÓN 1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE RSU Y COMPOSTAJE: LOS HORNILLOS



Figura 12.2.-complejo de valorización de residuos: los hornillos Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

Este complejo ha sido construido por la UTE “Los Hornillos” y en él se gestiona en torno a 450.000 ton/año de los residuos urbanos generados en Valencia y su área metropolitana. Se ubica en los límites de la ciudad, en el municipio de Quart de Poblet, tiene una superficie de 70.580 m<sup>2</sup> en un área próxima al aeropuerto, en las mismas parcelas donde se encontraban las antiguas instalaciones de tratamiento conocidas como Fervasa. El diseño de este Complejo ha tenido como principales objetivos la eliminación de emisiones de olores a los municipios cercanos, la maximización de los productos aprovechables y la minimización del contenido de materia orgánica de la fracción de rechazo

Concebido como un equipamiento público, incorpora un centro de visitantes y un área educativa para hacer visibles las posibilidades energéticas y medioambientales de la planta y concienciar a los ciudadanos, también implicados en la gestión de las basuras.

Los elementos del entorno como la escala, los colores y las texturas, se utiliza respondiendo con precisión y rigor a un programa funcional con una idea sencilla y una imagen unitaria, estableciendo una intensa relación entre paisaje y tecnología. El proyecto construye un fragmento de ciudad a través de una pequeña plaza de acceso, un lugar público de encuentro y de reunión

para trabajadores y visitantes, donde el agua y la vegetación, a base de naranjos autóctonos, adquieren gran importancia. La implantación y la organización del proceso de tratamiento del residuo, que trabaja a favor de la gravedad, se han desarrollado a partir del óptimo aprovechamiento de las condiciones topográficas y de acceso al emplazamiento elegido.



Figura 12.3.- valencia ciudad y área metropolitana Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)



Figura 12.4.-Edificio de control de accesos Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

**Características técnicas generales:** El complejo de valorización cuenta con tres biofiltros para el tratamiento del aire interno de las naves, donde se producen los olores. El proceso de depuración del aire consiste en un lavado y un filtrado posterior en relleno vegetal. El relleno vegetal permite la proliferación de microorganismos capaces de eliminar las sustancias orgánicas volátiles causantes del mal olor. Localizado en la entrada del complejo permite la deslocalización del sistema de aspiración. Tiene capacidad para el tratamiento del aire de la zona de recepción y parte del pretratamiento.



Figura 12.5.-Lecho de Biofiltro. Sistema de depuración del aire Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

### 12.2.1.-Descripción funcional del proceso

#### Residuos todo uno: líneas nº1 y nº2

Hay dispuesto dos líneas paralelas, con capacidad nominal de 25 ton/hora. Los alimentadores de cabecera proporcionan una dosificación del material para garantizar un flujo continuo de residuos al triaje primario, en el que se separan voluminosos, film, chatarra, vidrio y papel-cartón, este último mediante circuito neumático de aspiración. El flujo restante pasa a tromel, del que se obtienen tres fracciones:

- ✓ La fracción fina, <70 mm, pasa directamente a la línea de orgánico, de la que eliminan los elementos férricos y se conduce a la zona de interconexión para posterior compostaje.
- ✓ La fracción intermedia, 70-190 mm, es conducida a unos separadores balísticos, en las que se produce una separación en tres fracciones. La fracción fina se une a la línea de orgánico, la fracción planar es dirigida un triaje secundario manual y la fracción rodante es

dirigida a una clasificaci3n autom1tica mediante separadores 3pticos, cuyo rechazo se une a la fracci3n planar y pasa por el citado triaje secundario manual.

- ✓ La fracci3n gruesa, >190 mm, se somete a un triaje secundario manual del que se han separado previamente los materiales f3rricos mediante separadores magn3ticos.

Intercaladas en distintos puntos de todas las l3neas se disponen separadores magn3ticos y aspiraciones de pl1stico film, que conducen estos productos a sus correspondientes l3neas para ser prensados en prensas selectivas. Todos los materiales separados en el triaje secundario, tanto en esta como en las siguientes l3neas y los separadores 3pticos son almacenados en contenedores de fondo m3vil que, a trav3s de un alimentador de placas, sean prensados en una prensa multiproducto. A la salida del triaje secundario de la fracci3n intermedia se ubica un separador de inducci3n para recuperar los metales no f3rricos. El rechazo de los triajes secundarios se une y se dirigen a la nave de prensas y almac3n de rechazos.



Figura 12.6 L3neas 1 y 2 de pretratamiento

Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

### **Todo uno y de fracci3n org1nica selectiva (l3nea n33)**

La alimentaci3n se produce de la misma manera que para las l3neas 1 y 2 y en el triaje primario se seleccionan las mismas fracciones. El flujo restante pasa al tromel del que se obtienen tres fracciones:



- ✓ La fracción fina, <70 mm, pasa directamente a la línea de orgánico, de la que eliminan los elementos férricos y se conduce a la zona de interconexión para su posterior compostaje, donde se une con la línea de orgánico de las líneas nº1 y nº2.
- ✓ La fracción intermedia, 70-190 mm, es conducida a un triaje secundario, previa eliminación de férricos.
- ✓ La fracción gruesa, >190 mm, se une con la fracción pasante del tromel mm de la línea nº4 y pasa a un triaje secundario tras eliminar los férricos. A la salida del triaje secundario de la fracción intermedia se ubica un separador de inducción para recuperar los metales no férricos.

También, intercaladas en distintos puntos de la línea nº 3 se disponen separadores magnéticos y aspiraciones de plástico film, que conducen estos productos a sus correspondientes líneas para ser prensados en prensas selectivas. El rechazo de los triajes secundarios se une y se dirigen a la nave de prensas y almacén de rechazos.

#### **Fracción Orgánico Selectiva línea nº 4**

Tiene una capacidad aproximada de 25-30 T/H y una potencia de 3.000.000 kilovatios hora .La alimentación de residuos se produce de la misma manera que para las anteriores líneas y en el triaje primario se seleccionan las mismas fracciones. El flujo restante pasa al tromel del que se obtienen dos fracciones:

La fracción fina, <70 mm, pasa directamente a la línea de orgánico, de la que eliminan los férricos y se conduce a la zona de interconexión para su posterior compostaje, de forma independiente de la materia orgánica procedente de las fracciones “todo uno” o “resto”. La fracción > 70 mm, se une a la fracción gruesa, >190 mm, de la línea nº3 y es sometida a un triaje secundario manual.

#### **Línea de rechazo directo línea nº 5**

La cabecera de esta línea nº 5 está dispuesta en el centro del edificio que alberga los fosos de recepción y almacenamiento, pudiendo ser atendida mediante cualquiera de los tres conjuntos puente grúa y cuchara oleohidráulica.

También puede recibir la descarga directa de camiones recolectores desde la plataforma de maniobra. Esta previsión favorece la descarga directa de los residuos denominados sanitarios no



peligrosos del Grupo II, evitando de esta manera ser manipulados en operaciones intermedias. A esta línea nº5 se unen los rechazos de las líneas nº1 y nº2 por un lado y de las líneas nº3 y nº4 por otro. Una serie de cintas transportadoras (las exteriores capotadas) conducen los materiales hacia la nave de prensado de rechazos en el que dos prensas, embalan los rechazos producidos. Las balas fabricadas serán trasladadas hacia la zona de almacenamiento y/o carga de camiones para su carga mediante carretilla elevadora y posterior expedición a la planta de eliminación. En caso de incidencias simultáneas en las dos prensas de rechazo, una cinta reversible conduce los materiales hacia un acopio de emergencia, en la propia nave de prensado de rechazos, para posteriormente ser retirado y cargado en camiones mediante pala cargadora. La producción de rechazo es igual o menor al 47% en pretratamiento.



Figura 12.7. Prensado de los rechazos Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

### **Recepción y control:**

- Todos los vehículos que llegan al Complejo son pesados a la entrada y salida en las 4 básculas dotadas de un sistema automático de pesaje. Se registra el tipo de producto de entrada, su procedencia y su destino en el complejo.
- Se procede también al pesaje de todos los vehículos que salen del Complejo con productos reciclados para su comercialización, con compost o con rechazo, registrándose igualmente su destino.

- Con el fin de agilizar el proceso de pesado de residuos dos de las cuatro básculas pueden utilizarse indistintamente de entrada o de salida.
- Una vez pesado y según las características del material transportado se le indica el puesto de descarga al que debe dirigirse para depositar el contenido.
- La nave de recepción y fosos dispone de doble esclusa tanto de entrada como de salida para impedir la emisión de malos olores al exterior. La zona de maniobra cuenta con una superficie aproximada de 120 x 30 m diáfana por donde los vehículos de descarga maniobran y se posicionan en la zona asignada desde el puesto de pesaje.
- La gestión de los residuos depositados en los cuatro Fosos de Recepción y almacenamiento con las correspondientes cabeceras de las 5 líneas de tratamiento, está asegurada mediante 3 conjuntos de puente grúa más pulpos oleohidráulicos de 8 m<sup>3</sup> de capacidad de carga.



Figura 12.8 módulo de recepción y almacenamiento

Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

### 12.2.2.-Tratamiento de la fracción orgánica:

La planta dispone de un sistema de interconexión, por el cual se pretende distribuir de forma automática la fracción orgánica obtenida del proceso de pretratamiento en los dos sistemas disponibles para el compostaje de la materia orgánica (túneles y rotopala), a la vez que permite separar la materia orgánica procedente de la recogida selectiva de la no selectiva.

La operativa del conjunto, con sus diferentes módulos de la Planta, está complementada con dos trojes de almacenamiento, las cuales actúan como receptores de diferentes fracciones orgánicas, para evitar interrumpir el proceso. Desde estas trojes mediante pala cargadora se aporta la materia orgánica a un alimentador que reincorpora nuevamente el producto en el circuito automático de alguno de los dos sistemas de compostaje. También se realiza el aporte de material estructurante procedente de la nave de fracción vegetal, hacia el mezclador de entrada a túneles, controlando la mezcla resultante mediante básculas de pesaje en continuo.

**1) Compostaje en túneles:** mediante 25 túneles de compostaje se trata la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), la fracción orgánica procedente de recogida selectiva (FORSE). Estos diferentes tipos de entradas nunca se mezclarán entre ellas y sí con los restos vegetales, que actuarán como estructurante, por lo que se obtendrán dos calidades de compost final.

El sistema de carga de túneles es totalmente automático. Desde la zona de interconexión y después del mezclador-homogeneizador de la fracción poda, el material llega mediante cinta transportadora hasta una galería de servicio en la parte superior de los túneles donde comienza el sistema de carga automática de túneles.

Frente a las puertas de los túneles se ubica un equipo desplazable sobre carriles a lo largo de las puertas. Cuando se decide la carga de un túnel determinado, el puente se sitúa frente al túnel seleccionado y abre la puerta. El puente de entrega alberga una cinta transportadora, que también es desplazable y reversible y que se introduce dentro del túnel a llenar. Esta cinta recibe el material de la cinta, distribuyendo el material de manera homogénea a lo largo de toda la superficie del túnel, tanto longitudinal como transversalmente.

Cada túnel de compostaje tiene su propio sistema de ventilación y está conectado a dos conductos centrales de aire: el conducto central de suministro de aire fresco y el conducto central de descarga de aire de proceso para el aire caliente y húmedo que se desprende durante el proceso de compostaje. La Capacidad de compostaje es de 205.000 t/año de fracción orgánica.



Figura 12.9.-Tunel de Compostaje Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

El aire recogido de descarga de los túneles se conduce al sistema de tratamiento de aire (biofiltros). Con el sistema de regulación de la ventilación, y el riego del material mediante la recirculación del lixiviado o la adición de agua fresca, se ajusta la temperatura, la humedad y el contenido de O<sub>2</sub> del material a unas condiciones óptimas para el proceso.



Figura 12.10.-Sistema de tratamiento de aire (biofiltros) Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

En el ordenador de control y visualización se pueden ajustar los parámetros de regulación que sean necesarios y desde aquí se puede controlar el proceso de compostaje.

Una vez que se ha pasado el tiempo de residencia de la materia dentro de los túneles, se procederá a su descarga automática para trasladar el material hasta el área de maduración. Los túneles de compostaje disponen de un sistema de piso móvil para la extracción del material.

**2) Maduración de la materia orgánica:** El compost procedente del sistema automático de descarga de los túneles de compostaje llega hasta la zona de maduración mediante una serie de cintas y allí se reparte a lo largo de la nave de maduración mediante dos tripper. Las cintas tripper conforman la primera línea de la meseta, cuyo avance se efectúa mediante los volteos propiciados por una volteadora autopropulsada de forma que airea el producto favoreciendo su correcta maduración hasta alcanzar los niveles de calidad requeridos. Después del último volteo, el compost se recogerá mediante una pala cargadora que alimenta la tolva del alimentador de compost, dispuesto en la propia nave de maduración, y mediante cinta transportadora se envía a afinar, donde mediante cintas reversibles se distribuye entre las dos líneas paralelas de afino.

**3) Bioestabilización por Rotopala:** como proceso alternativo al compostaje en túneles y maduración en meseta, se plantea un sistema de bioestabilización por rotopala para tratar 62.000 toneladas anuales del total de 190.810 toneladas de materia orgánica producidas en el complejo. Este sistema consta de los siguientes elementos: sistema de carga, sistema de volteo (rotopala), cinta de descarga, sistema de aireación y sistema de riego. Todo el proceso está automatizado y solamente es preciso acceder a la instalación para labores de mantenimiento durante las paradas técnicas. La máquina volteadora (rotopala) desplaza el material con cada paso de volteo semanal hacia la zona de descarga. La propia volteadora dispone de un sistema de riego de agua fresca para mantener la humedad apropiada en el proceso de compostaje. La descarga se realiza en modo automático por la misma volteadora, de forma que un conjunto de cintas transporta el material hasta la nave de afino. El aire de la nave es conducido al biofiltro para su tratamiento previo a la emisión a la atmósfera. La nave siempre se mantendrá en depresión con el fin de evitar la salida de olores de la instalación al exterior. Una cinta reversible permite su traslado al área de maduración, para que las posibles eventualidades en las líneas de afino no interrumpan el proceso de bioestabilización.



Figura 12.11.- Rotopala

Fuente:

[www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

**4) Afino del compost:** Una vez completada la maduración del compost, se procede al refinado final a efectos de eliminar los elementos impropios que pueden perjudicar la calidad del compost final, así como su aspecto y valor comercial. A tal efecto se han instalado dos líneas de afino de compost independientes y paralelas. Las líneas pueden recibir indistintamente el compost directamente desde maduración y rotopala, a través de cintas reversibles. El producto afinado de las dos líneas se une para ser transportado hacia la nave de almacenamiento.



Figura 12.12.-Proceso de refinado final del compost

Fuente: [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es)

**Tratamiento de lixiviados:** se ha adoptado una solución con las siguientes etapas: una biología activa con desnitrificación y nitrificación, una ultrafiltración para la separación completa de la biomasa del agua depurada y una instalación de osmosis inversa que cubra la totalidad del permeado de la ultrafiltración para la reducción de contaminantes no biodegradables. Tanto la biomasa recuperada en la fase de ultrafiltración como el permeado final obtenido son reincorporados al proceso.



Figura 12.13.- Proceso de tratamiento de lixiviados

Fuente: [www.uteloshornilos.es](http://www.uteloshornilos.es)

### 12.3.-INSTALACIÓN 2. PLANTA DE ELIMINACIÓN DE RECHAZOS DOS AGUAS



Figura 12.14.-Planta de eliminación de rechazos dos aguas Fuente: [www.emtre.es](http://www.emtre.es)

S.A. Agricultores de la Vega de Valencia tiene una participación del 65% en la UTE Dos Aguas, empresa adjudicataria del Proyecto de Gestión de la “Instalación 2”, incluida en el Plan Zonal de Residuos de las Zonas III y VIII (Área de Gestión 1).

La Planta se ha diseñado para una vida útil aproximada de 23 años, una capacidad de vaso de vertido de 5.618.259 m<sup>3</sup> y con unas entradas medias anuales de 480.000 Tm/año., en donde se reciben los rechazos procedentes de la planta de valorización de los Hornillos para su posterior tratamiento y eliminación; además de contar con zonas de control y pesaje, servicios y nave taller, caminos de acceso, sistema de gestión de lixiviados, infraestructuras de control de aguas pluviales, sistema de desgasificación y un plan de control y vigilancia ambiental.

Tipo de tratamiento: Apilamiento en balas prensadas, cubrición diaria con material inerte. Captación y depuración de lixiviados. Captación y gestión de biogás.



#### 12.4.-INSTALACI3N 3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE RSU DE MANISES



Figura 12.15.- Planta de tratamiento de RSU de Manises Fuente: [www.retema.es](http://www.retema.es)

Está situada en el término municipal de Manises (Valencia) y construida por una U.T.E formada por las empresas “S.A.V. Agricultores de la vega de Valencia” y “F.C.C. Fomento de Construcciones y Contratas y “Servicios Contratas Prieto”, desarrollado por la Ingeniería Grupotec y en el que se gestiona durante una vida útil esperada de 20 años, en torno a 350.000 ton/año de los residuos generados actualmente en Valencia ciudad y su Área Metropolitana.

La instalación se ha proyectado con la máxima flexibilidad y modulación posible para la operación de la misma, a fin de obtener una máxima capacidad de recuperación tanto mecánica como manual de los materiales valorizables de los residuos y una mínima cantidad de rechazos a depositar en la instalación de eliminación.

En cuanto al ajardinamiento de los espacios exteriores, por las características de la obra, su emplazamiento y uso, se ha considerado importante el diseño de un jardín sostenible, con bajas necesidades de riego, casi nulas, y escaso mantenimiento que permita reducir el impacto ambiental provocado por la alteración de la vegetación natural de la zona.

El diseño de la Planta de Tratamiento ha tenido como principales objetivos:

- Maximización de los productos aprovechables
- Minimización del contenido de materia orgánica de la fracción de rechazo

- Minimizar la producción de lixiviados
- Eliminación de emisiones de olores a los municipios cercanos

#### **12.4.1.- Características técnicas:**

- Todas las naves de proceso se encuentran en depresión y disponen de captación y tratamiento de aire mediante lavado y biofiltros para evitar la emisión de malos olores.
- Planta de selección de residuos para tratamiento de los residuos recogidos en el contenedor todo uno.
- Posee una planta de tratamiento para animales muertos gestionando los animales domésticos muertos mediante el procedimiento de incineración.
- Planta de compostaje para la maduración y depuración de la materia orgánica procedente de la selección mezclado con la fracción verde.
- Separación: tromeles, mesas de selección manual, separación balística, óptica de plásticos, neumática de film, magnética e inductiva.
- Se han utilizado las mejores técnicas disponibles para asegurar la minimización en el consumo energético, de agua y producción de lixiviados, así como gran fiabilidad en la medida de los parámetros de control, simplicidad del proceso y fiabilidad respecto a la reposición de los equipos.

#### **12.4.2.-Descripción funcional del proceso**

##### **Módulo de registro y control de entradas – salidas:**

En él se realiza el control, registro y autorización de la recepción de los Residuos Urbanos procedentes de la recogida domiciliaria y residuos de jardinería. Una vez que los vehículos son posicionados adecuadamente, se procede a su identificación por medio de la lectura automática de la matrícula. Una vez registrada la procedencia y el tipo de residuo transportado, se realiza el pesaje y se acciona la apertura automática de la barrera de control, permitiéndose el acceso del mismo a las instalaciones en la nave de recepción.

### **Módulo de recepción y almacenamiento de residuos:**

Se trata de una nave cerrada, con una combinación de extracción de aire / introducción de aire fresco, que mantiene el recinto en unas condiciones que impiden las salidas incontroladas de aire al exterior, manteniendo unas adecuadas condiciones en la atmósfera interior de la nave. Tanto la entrada como la salida de los vehículos, se realiza a través de un sistema de doble esclusa que impide la salida de aire al exterior.

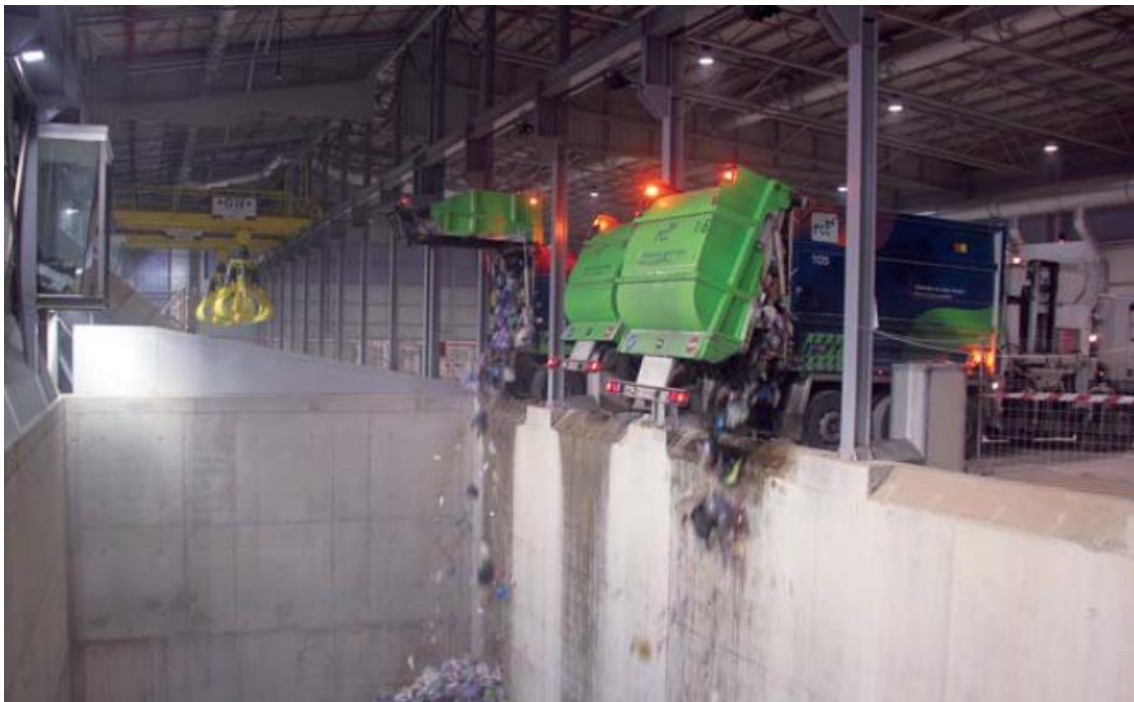


Figura 12.16.-Módulo de recepción y almacenamiento de residuos Fuente: [www.retema.es](http://www.retema.es)

### **Módulo de selección y clasificación de RSU (Pretratamiento)**

Existen tres líneas de tratamiento de RU, de 30 Ton/hora de capacidad nominal.

1. **Cribado de Voluminosos:** el material aportado por los alimentadores Panzer se introduce en un trómel provisto de pinchos abre bolsas, con una perforación de cribado de  $\varnothing 300$  mm.
2. **Selección de vidrio:** el material de granulometría media inferior a  $\varnothing 300$ mm pasa por un casetón de selección manual de vidrio para su recuperación.

**3. Cribado Doble:** Tras la recuperación del vidrio, el material se introduce en un trómel de doble sección de cribado:

A) Primera sección de malla de cribado  $\varnothing 80$  mm, del que se derivan dos caudales:

I. Material de granulometría inferior a  $\varnothing 80$  mm, en donde se encuentra la mayor parte de la fracción orgánica de los residuos.

II. Material de granulometría superior a  $\varnothing 80$  mm, que pasa al segundo cuerpo de cribado.

B) Segunda sección de malla de cribado  $\varnothing 50 \times 240$  mm, del que se derivan dos caudales:

I. Material de granulometría inferior a  $\varnothing 50 \times 240$  mm y superior a  $\varnothing 80$  mm. En esta fracción se concentran la mayor parte de envases férricos y de aluminio, briks y cuerpos huecos (botellas).

II. Material de granulometría superior a  $\varnothing 50 \times 240$  mm e inferior a  $\varnothing 300$  mm, en la que se encontrarán fracciones como Papel – cartón de tamaño medio, envases Brik y plásticos de PET – PEAD de mayor tamaño.

Los caudales procedentes de cada uno de los trómeles se unen en una cinta común, sobre la que se efectuará una separación manual en mejores condiciones.



Figura 12.17.-Separación balística

Fuente: [www.retema.es](http://www.retema.es)



**4. Separación Balística:** La fracción granulometría inferior a  $\varnothing 50*240$  mm y superior a  $\varnothing 80$  mm de cada una de las tres líneas, pasa a tres separadores balísticos en donde mediante la acción combinada de: inclinación de plano, movimiento vibratorio, impulsión de aire y malla de cribado, se descompone el caudal entrante en tres caudales de salida:

A. FRACCIÓN LIGERA – PLANAR: Sigue el proceso diferenciado en tres líneas con los siguientes pasos:

- Separador de Férricos
- Captación neumática de plástico film
- Separación manual dirigida principalmente a: papel-cartón, envases PET ,PEAD y BRIK.
- Separador de metales no férricos mediante corrientes de Foucault.

B. FRACCIÓN PESADA – RODANTE: Sigue el proceso diferenciado en tres líneas con los siguientes pasos:

- ✓ Separador de férricos
- ✓ Captación neumática de plástico film
- ✓ Separador óptico 1 de doble válvula, en el que la fracción entrante se descompone en tres caudales:

I. Fracción de envases BRIK, conducida mediante cinta transportadora hasta la troje de almacenamiento y dosificación automática al sistema de prensado.

II. Fracción de POLÍMEROS PLÁSTICOS. Los caudales resultantes de las tres líneas se unen en una cinta común que alimentará al separador óptico 2.

II. Fracción de RESTO

C. FRACCIÓN MENOR DE 80 mm. Los caudales de las tres líneas, se unen en una cinta común conduciéndose conduciéndose, mediante otra cinta transportadora, hasta la cinta común de la fracción recuperada en el primer cuerpo de los trómeles dobles.

**Tratamiento de residuos de jardinería y podas:** los camiones descargan el residuo directamente sobre una tolva que alimenta la trituradora. Una vez triturado, el residuo se conduce mediante cinta transportadora hasta uno de los dos contenedores existentes de 100 m<sup>3</sup> cada uno, dotados de fondo de descarga tipo “piso móvil”.



Posteriormente el residuo se irá dosificando sobre la salida de fracción menor de 80 mm., obtenido en el tratamiento de los residuos urbanos, con destino a la nave de trincheras de compostaje.

**Gestión del rechazo primario de tratamiento:** del tratamiento de residuos se obtiene finalmente un caudal general de rechazo primario, que es dirigido a la nave anexa de compactado, almacenamiento y expedición de rechazo, en la que existen dos prensas embaladoras instaladas en paralelo para el embalado alternativo del rechazo en una de las dos prensas.

**Gestión de los subproductos obtenidos:** Salvo en el caso del vidrio y de las chatarras que se almacenan a granel, el resto de los subproductos recuperados se almacenan embalados, para lo que se han instalado las siguientes prensas en el interior de la nave:

- Prensa de papel cartón para el embalado del material recuperado en la caseta de selección de voluminosos.
- Prensa de férricos mediante un sistema de cintas transportadoras, se conduce todo el producto férrico recuperado por los 9 separadores de férricos en distintos puntos del proceso, hasta una cinta reversible que alimenta alternativamente a las dos prensas.
- Prensa de bote de aluminio mediante un sistema de cintas transportadoras, se conduce todo el aluminio recuperado por los 4 separadores de Foucault hasta la prensa.
- Prensa de elementos ligeros -plástico Film
- Prensa multifunción: mediante un sistema de 8 trojes de alimentación y dosificación, se alimenta alternativamente la prensa embalando :Papel – Cartón, Plástico PET, Plástico PEAD, Envases Brik y Plástico Mezcla.

#### **Módulo de compostaje –estabilización de la fracción orgánica**

En esta fase tiene lugar la estabilización biológica de la fracción orgánica obtenida, para lo que se requiere el consumo de cantidades importantes de oxígeno, en adecuadas condiciones de temperatura y humedad.

La descomposició de los compuestos biodegradables libera cantidades importantes de calor que es preciso evacuar periódicamente de la masa en compostaje. Por ello se ha implantado un proceso dinámico de compostaje, que combina la acción de volteos periódicos, con un sistema controlado de aporte de aire y control de la humedad mediante el riego del sustrato.

El proceso implantado consta de:

- Sistema de alimentación, mediante una cinta con carro tripper de alimentación, con capacidad nominal de 100 m<sup>3</sup>/hora.
- Un total de 30 trincheras de compostaje. Por la base de cada trinchera se distribuyen canaletas con la doble función de recogida de lixiviados, que a través de colectores primarios y secundarios, captan y evacúan el lixiviado generado, e impulsión de aire de proceso.
- Dos volteadoras autopropulsadas para el desplazamiento, homogeneización, evacuación de calor y de metabolitos de reacción y para la aireación del producto.
- Sistema de aireación, constituido por un total de 16 ventiladores, 4 ventiladores por bloque de trincheras, cada uno dimensionado para las condiciones de caudal y presión adecuados a los requerimientos del sector de aireación.
- Sistema de riego de trincheras, en su zona central. Cada conducto de riego a cada trinchera, se encuentra gobernado por una electroválvula, de forma que permite decidir su riego o no y la duración de éste, en función de sus necesidades concretas. Está provisto de un depósito de 2000 litros para la dosificación y mezcla de agua.
- Sistema de vaciado de trinchera, mediante un programa específico de la volteadora. Ésta vierte el material en el último volteo sobre la cinta transversal que lo recoge y lo conducirá a la nave de maduración.
- Sistema de cambio de trinchera. Tras realizar el vaciado, la volteadora se sitúa sobre un carro de transferencia que la traslada hasta la siguiente trinchera a voltear.
- Sistema de limpieza de los colectores de captación de lixiviados, por medio de ciclos programados de limpieza. Con la presión y caudal adecuados, se inyecta agua por los colectores de lixiviados para mantener éstos limpios.
- Zona de mantenimiento, con puente grúa de trabajo. Las volteadoras son trasladadas cada vez que se precise, por medio de los carros de transferencia, hasta una zona, perfectamente acondicionada para la realización de su limpieza y mantenimiento.

**Módulo de maduración de la fracción orgánica:** es la fase final de maduración, en la que predominan los procesos lentos de biosíntesis de compuestos húmicos, con muchas menos exigencias tanto de oxígeno, como de control de parámetros de proceso. Se lleva a cabo en la nave de maduración, depositando el producto en una meseta continua por medio de cinta con carro tripper.

Los volteos periódicos de aireación y mezcla se realizan por medio de volteadora autopropulsada. El tiempo de permanencia y el número de volteos del producto en esta fase, viene condicionado por el grado de estabilización alcanzado en la nave de trincheras.

Las condiciones que deben cumplirse para poder procesar el producto en el afino, son: estabilización completa de la materia orgánica, adecuado grado de sequedad y disgregación de dicha fracción orgánica.



Figura 12.18.-Módulo de maduración de a fracción orgánica Fuente: [www.retema.es](http://www.retema.es)

**Módulo de afino y almacenamiento del compost:** una vez terminado el compostaje, el producto obtenido pasa por una fase final de tratamiento en la que se eliminan las impurezas contenidas en la fracción orgánica compostada, en 3 fases:

1. ALIMENTACIÓN. Realizada mediante carga con pala frontal en un alimentador de placas.
2. CRIBADO EN TROMEL CON MALLA DE 12 mm. El rechazo de este trómel se envía al troje de almacenamiento, mientras que el hundido pasa a la fase siguiente.
3. SEPARACIÓN EN MESA DENSIMÉTRICA. El rechazo denso, formado por pequeños vidrio, cerámicas, piedras, huesos, etc., se dirige al troje de almacenamiento de rechazo, mientras que el compost final obtenido se dirige a su troje de almacenamiento y de ahí al almacén de compost.



### Captación de aire y depuración en biofiltros

Todas las naves y dependencias de la planta son cerradas y se hallan en depresión, para evitar la salida de aire portador de malos olores al exterior. El aire extraído de las distintas naves, es conducido hasta los plenums de impulsión del biofiltro correspondiente.



Figura 12.19.-  
Depuración del aire en  
los biofiltros  
Fuente: [www.retema.es](http://www.retema.es)

	Dependencias vinculadas	Caudal a depurar (Nm <sup>3</sup> /h)	Tipo de lecho	Prehumidificador	Lavado ácido de gases	Potencia instalada (kW)
Biofiltro 1	- Recepción y fosos - Pretratamiento - Subproductos - Rechazos	170.570	Orgánico (Brazo)	Si	No	421
Biofiltro 2	- Maduración - Afino	143.788	Orgánico (Brazo)	Si	No	380
Biofiltro 3	- Trincheras - Galería	228.000	Inorgánico (Perlas arcilla expandidas)	Si	Si	1.165

### Tratamiento de lixiviados y aguas sucias en depuradora

La totalidad de los lixiviados generados en los distintos procesos, así como las aguas sucias o potencialmente contaminadas producidas en el complejo de valorización, se tratan en una depuradora con una capacidad nominal de tratamiento de 75 m<sup>3</sup>/día.

El proceso de tratamiento diseñado, consta de las siguientes etapas:

- PRETRATAMIENTO DEL LIXIVIADO, con el fin de separar la mayor parte de los sólidos contenidos, antes de su entrada a la depuradora.

- DEPURACI3N BIOL3GICA, integrada por:

- Etapa de desnitrificaci3n, en el que se mezcla el l3quido a tratar con el lodo biol3gico.
- Etapa de nitrificaci3n, alimentada con aire a presi3n.
- Etapa de ultrafiltraci3n con membranas, para la separaci3n completa de la biomasa. Debido al car3cter exot3rmico de las reacciones en esta etapa, se instala un sistema de refrigeraci3n compuesto por un intercambiador de calor y una torre de refrigeraci3n.
- Tratamiento terciario mediante 3smosis inversa. En este tratamiento se obtiene:

1) Agua Depurada, que pasa a formar parte del agua de proceso para su utilizaci3n en la planta.

2) Concentrado de 3smosis, que ser3 retirado para su gesti3n externa por gestor autorizado.



Figuras 12.20 y 12.21.-Tratamiento de lixiviados en depuradora

Fuente: [www.retema.es](http://www.retema.es)

## CONCLUSIONES

En primer lugar debemos tener en cuenta que en el contexto europeo la producción de residuos se encuentra en continuo aumento y la actividad económica vinculada a los residuos alcanza cada vez mayor importancia, tanto por su envergadura como por su repercusión directa en la sostenibilidad del modelo económico europeo.

Para una correcta gestión de los residuos urbanos, las diferentes administraciones deberán concienciar a la sociedad del valor potencial que encierran los residuos que esta genera, y la necesidad de su reutilización. No solo por la riqueza que suponen los distintos materiales desechados, sino por la serie de beneficios indirectos que este tipo de gestión implica: menor ocupación del suelo destinado al vertido, ahorro energético y fundamentalmente disminución de la contaminación.

Dado que con el reciclaje se consigue recuperar una parte de los materiales, los futuros planes de gestión deben ir encaminados a potenciar la recogida selectiva y más aún la separación en origen.

En cuanto a la legislación valoro positivamente los objetivos de la directiva marco de residuos transpuesta a nuestro ordenamiento jurídico en la Ley de Residuos y suelos contaminados que incide en la necesidad de transformar el modelo económico europeo hacia un modelo económico sostenible estableciendo un marco jurídico que proporcione los instrumentos que permitan equilibrar el crecimiento económico y la producción de residuos.

Es altamente positiva su apuesta por la prevención: el mejor tratamiento de los residuos es no generarlos, es decir, la reducción en origen. Se formula una jerarquía de residuos que ahora antepone las operaciones de prevención y preparación para la reutilización, reciclado y otros tipos de valorización incluida la energética a la eliminación. Aspira a aumentar la transparencia la eficacia ambiental y económica de las actividades de gestión de residuos. Obliga al productor de residuos a suscribir una garantía financiera que cubra las responsabilidades y un estudio de minimización que los productores de residuos peligrosos estarán obligados a elaborar y remitir a la Comunidad Autónoma comprometiéndose a reducir la producción de residuos.

## BIBLIOGRAFÍA

- De Bertoldi M.; Vallini G.; Pera A. y Zucconi F. 1982. "Comparison of three windrow compost systems". Rev. Biocycle 23.
- Diaz, L.F.; Savage, G.M. 2007. "Factors that affect the process. Compost Science and Technology". Elsevier, Amsterdam,
- Eweis, J.; Ergas S.; Chang D. y Schroeder E. 1999. "Principios de Biorrecuperación". 1ª Edición. McGraw Hill. España.
- Fitzpatrick, G.E.; Worden, E.C.; Vendrame, W.A. 2005. "Historical development of composting technology during the 20th century". Horttechnology, 15.
- Gasser J.K.R. 1985. "Composting of Agricultural and Other Wastes". Elsevier Applied Science; London, U.K.
- Haug, R.T. 1993. "The practical handbook of compost engineering". Lewis Publishers.
- Helynen S. 2004. "Overview of European Policies and Directives aimed at promoting energy from wood biomass". Future Issues for Forest Industries in Europe, 28 April - 1 May, Dublin, Ireland.
- Hoitink, H.A.J.; Keener, Hm.; Marugg, C.; Hansen, R.C. 1993. "Optimizing the efficiency of the composting process." Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications, Ohio.
- Holgado, A.; Columela, L.J.M. 1988. "De los trabajos de campo. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación". Ed. Siglo XXI de España, Madrid.
- Jeris, J.S.; Regan, R.W. 1973. "Controlling Environmental Parameters for Optimun Composting. Part II". Compost Sci, 14.
- Jhorar, B.S.; Phogat, V., Malik E. 1991. "Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment". Arid Soil Rest. Rehabil., 5
- Kiehl, F.J. 1985. "Fertilizantes orgánicos". Editora Agronómica Ceres Ltda. Sao Paulo
- Madejón, E.; Díaz, M.J.; López, R.; Cabrera, F. 2001. "Co-composting of sugarbeet vinasse: Influence of the organic matter nature of the bulking agents used". Biores. Technol., 76
- Miyatake F.; Iwabuchi K, 2006. "Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure". Biores. Technol.,97
- Moreno Casco, J.; Moral Herrero, R. (2008). "Compostaje". Mundi Prensa, España.
- Mustin, M. 1987. "Le compost. Gestion de la matière organique". Editions François Dubusc. Paris.
- Poincelot, R.P. 1975. "The biochemistry and methodology of composting". The Connecticut Agricultural Experimental Station. Bull 754.
- Rynk, R. y Richard, T. 2004. "Sistemas de producción comercial de compost". Utilización de compost en sistemas de cultivo agrícola. Mundi-Prensa. Madrid.
- Rynk, R.; van de Kamp M.; Willson G.B.; Singley M.E.; Richard T.L.; Kolega J.J.; Gouin, L.; Laliberty Jr.; Kay D.; Murphy D.W.; Hoitink H.A.J. and Brinton W.F. 1992. "On-Farm composting handbook". Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, N.Y.



- Saña, J. y Soliva, M. 1987. "El compostatge: procés, sistemes i aplicacions". Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. Quaderns d'ecologia aplicada nº 11.
- Sánchez-Monedero M. A.; Roig A.; Paredes C.; Bernal M. P. 2001. "Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures". *Biores. Technol.*, 78
- Stoffella P.J. and Kahn, B.A. 2001. "Compost utilization in horticultural cropping systems". Lewis Publishers, New York, USA
- Suler, D.J.; Finstein, S. 1977. "Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO<sub>2</sub> Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste". *Appl. Environ. Microbiol.*, 33
- Wilson, G.B. y Dalmat, D. 1983. "Sewage sludge composting in U.S.A". *BioCycle* 24
- Zhu, N.W. 2006. "Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system". *Biores. Technol.* 97
- Cabildo, M.P.; Claramunt, R.M.; Cornago, M.P.; et al. 2008. "Reciclado y tratamiento de residuos". *Ciencias Ambientales. UNED.*
- Carreras, N.; Dorronsoro, J.L. 1999. "Aprovechamiento energético del biogás generado a partir de residuos sólidos urbanos". *TecnoAmbiente*, 71.
- Chugh, S.; Chynoweth, D.P.; Clarke, W.; Pullammanappallil, P.; Rudolph, V. 1999. "Degradation of unsorted municipal solid waste by a leach-bed process". *Bioresource Technology*, 69.
- Clark, R.H. y Speece, R.E. 1989. "The pH tolerance of anaerobic digestion". *Advanced water pollution research Int. Conf* 5th.
- De Baere, L. 2000. "Anaerobic digestion of solid waste: state of the art". *Water Science & Technology*, 41.
- El-Fadel, M.; Massoud, M. 2001. "Methane emissions from wastewater management". *Environmental Pollution*, 114.
- Flotats, X.; Bonmatí, A.; Campos, E.; Teira, M.R. 2000. "El proceso de secado de purines en el marco de gestión integral de residuos ganaderos". *Residuos*, 53.
- Jarabo, F. 1999. "La energía de la biomasa". 2ª ed. Madrid: S.A.P.T publicaciones técnicas, S.L.
- Lay, J.J.; Li, Y.Y. y Noike, T. 1997. "The influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion". *Water Resources*. 31.
- Levasseur, J.-P. 1999. "Anaerobic digestion of organic waste: from theory to industrial practice". II Int. Symp. Anaerobic Dig. Solid Waste. Barcelona, Junio 15-17, vol. 2.
- Lissens, G.; Vandevivere, P.; De Baere, L.; Bley, E.M. and Verstraete, W. 2001. "Solid waste digesters: process performance and practice for municipal solid waste digestion". *Water Science Technology*, 44.
- Massé D.I.; Droste R.L. 2000. "Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch reactor". *Water Research*, 34-12.
- Mata-Álvarez, J (ed.). 2002. "Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes". IWA Publishing.



Mata-Álvarez, J.; Macé, S.; Llabrés, P. 2000. "Anaerobic of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives". *Bioresource Technology*.

Milán, Z.; Sánchez, E.; Weiland, P.; Borja, R.; Martín, A.; Llangovan, K. 2001. "Influence of different natural zeolite concentrations on the anaerobic digestion of piggery waste". *Bioresource Technology*, 80.

Nopharatana, A.; Pullammanappallil, P.C.; Clarke, W. 2003. "A dynamic mathematical model for sequential leach bed anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste". *Biochemical Engineering Journal*, 13.

Ouedraogo, A. 1999. "Pilot-scale two-phase anaerobic digestion of the biodegradable organic fraction of Bamako district municipal solid waste". *Proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes, Barcelona, vol. 2*.

Polanco, F.F.; Encina, A.G. 2000. "Procesos Biológicos Anaerobios. Jornadas sobre tratamientos biológicos de residuos orgánicos". Universidad de Valladolid.

Speece, R.E. 1987. "Nutrient requirements of anaerobic digestion of biomass". Elsevier Applied Science LTD.

Tchobanoglous, George.; Theisen, H.; Vigil, SA. 1993. "Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues". McGraw-Hill, New York, USA.

Tchobanoglous G.; Theisen, H.; Vigil, S. 1996. "Gestión integral de residuos sólidos". Mc GrawHill.

Turner, C.; Burton, C.H. 1997. "The inactivation of viruses in pig slurries: a review". *Bioresource Technology*, 61.

Van der Berg, L.; Kennedy, K.L. 1981. "Potential use of anaerobic process for industrial waste treatment". *Seminar of anaerobic waste water treatment and energy recovery, Pittsburgh-Pennsylvania*.

Van Lier, J.B.; Tilche, A.; Ahring, B.K.; Macarie, H.; Moletta, R.; Dohanyos, M.; Hulshoff Pol, L.W.; Lens, P. y Verstraete W. 2001. "New perspectives in anaerobic digestion". *Water Science & Technology*, 43.

Vélez-Sánchez-Verín, C.E.; Pinedo-Álvarez, C.; Viramontes-Olivas, O.A.; Ortega Ochoa C.; Melgoza-Castillo, A. 2008. "Environmental biotechnologies for livestock manure treatment". *Tecnociencia. Creatividad y desarrollo tecnológico*, II.

Vogt, G.M.; Liu, H.W.; Kennedy, K.J.; Vogt, H.S.; Holbein B.E. 2002. "Super blue box recycling (SUBBOR) enhanced two-stage. Anaerobic digestion process for recycling municipal solid waste: laboratory pilot studies". *Bioresource Technology*.

Weiland, P. 1992. "One- and two-step anaerobic digestion of solid agroindustrial residues". *International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes. Abril 14-17. Venecia*.

Cabildo, M.P.; Claramunt, R.M.; Cornago, M.P.; et al. 2008. "Reciclado y tratamiento de residuos". *Ciencias Ambientales. UNED*.

DoE. 1994. "Guidance on Good practice for landfill engineering". Department of the Environment Research report. (Guía de las buenas prácticas)

DoE. 1995. "Landfill design, construction and operational practices, waste management paper". Department of the Environment HMSO, Norwich.



Garrido, E. 2008. "Metodología de Diagnóstico Ambiental de Vertedero, adaptación para su informatización utilizando técnicas difusas y su aplicación en vertederos en Andalucía". Universidad de Granada.

Glysson, E.A. 2003. "Residuos sólidos". Mc GrawHill.

Hontoria, E.; Zamorano, M. 2000. "Fundamento del manejo de los residuos urbanos". Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Granada.

Jessberger, HL; Stone, K. 1991. "Subsidence effects on clay barriers". Geotechnique.

Jones D.L.; Williamson K.L.; Owen A.G. 2005. "Phytoremediation of landfill leachate" Waste Management.

Kiely, G.1999. "Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión". Mc Graw Hill.

Leton T.G.; Omotosho O. 2003. "Landfill operations in the Niger delta region of Nigeria". Engineering Geology.

McBean, E.; Rovers, F.; Farquhar, G. 1995. "Solid Waste Landfill Engineering and Design" Prentice-Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Oman, C.; Rosqvist, H.1999. "Transport fate of organic compounds with water through landfills", Water Research, 33(10).

Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002.

Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Sener, B.; Süzen, ML.; Doyuran, V. 2006. "Landfill site selection by using geographic information systems". Environmental Geology, 2006, vol. 49.

Slack R.J.; Gronow J.R.; Voulvoulis N. 2005. "Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate". Science of the total environment 337.

Vaillancourt K.; Waaub J.P. 2002. "Environmental site evaluation of waste management facilities embedded into EUG\_EENE model: A multicriteria approach". European Journal of Operational Research 139.

Vaquero Díaz, I. 2004. "Manual de diseño y construcción de vertederos de residuos sólidos urbanos". Universidad Politécnica de Madrid.

Wells, A.N.; Crooks, M.E. 1987. "Solid Waste Landfill Design Manual". Parametrix, Inc. Washington State Department of Ecology. GTS Section. Olympia. Washington.

Wu, J.J.; Wu, C.C.; Ma, H.W.; Chang, C.C. 2004. "Treatment of landfill leachate by ozone based advanced oxidation process". Chemosphere 54.

"Gestión integral de los residuos urbanos". Arturo Ríos Hernández. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco. México D.F 2009.



Anexo 1.1 del Plan integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV) que desarrolla el contenido de la Norma Técnica reguladora de la implantación y funcionamiento de los ecoparques.

[www.valencia.es/ayuntamiento/infocidad\\_accesible.nsf/0/3117a9909149e9b4c12572c20023e1a7?OpenDocument&Click](http://www.valencia.es/ayuntamiento/infocidad_accesible.nsf/0/3117a9909149e9b4c12572c20023e1a7?OpenDocument&Click)

[www.tma.es/noticias/2012/7/24/nuevo-centro-de-transferencia-en-valencia.html](http://www.tma.es/noticias/2012/7/24/nuevo-centro-de-transferencia-en-valencia.html)

[www.lexdiario.es/noticias/213391/el-nuevo-reglamento-de-emisiones-industriales-ya-esta-en-vigor](http://www.lexdiario.es/noticias/213391/el-nuevo-reglamento-de-emisiones-industriales-ya-esta-en-vigor)

[www.daphnia.es/revista/53/articulo/1034/La-incineracion-mas-problema-que-solucion](http://www.daphnia.es/revista/53/articulo/1034/La-incineracion-mas-problema-que-solucion)

[www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=8](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=8)

[www.diariodemallorca.es/medio-ambiente/2014/01/02/vertederos-vertidos-reconvertidos-ii/900619.html](http://www.diariodemallorca.es/medio-ambiente/2014/01/02/vertederos-vertidos-reconvertidos-ii/900619.html)

[www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1537&IDTIPO=100&RASTRO=c507\\$m](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1537&IDTIPO=100&RASTRO=c507$m)

[www.sav-lavega.com](http://www.sav-lavega.com) [www.uteloshornillos.es](http://www.uteloshornillos.es) [www.inforeciclaje.com](http://www.inforeciclaje.com)

[www.retema.es](http://www.retema.es)

[www.emtre.es](http://www.emtre.es)