



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN  
SISTEMA DE DESODORIZACIÓN PARA LA  
REDUCCIÓN DE LOS OLORES GENERADOS  
EN EL PARQUE TECNOLÓGICO DE  
VALDEMINGÓMEZ DE MADRID**

**Autor**

María Balbás de la Fuente

**Directores**

María del Mar Cledera Castro

Pilar Palomar Herrero

Madrid

Julio, 2021





Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE DESODORIZACIÓN  
PARA LA REDUCCIÓN DE OLORES GENERADOS EN EL PARQUE  
TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ DE MADRID en la ETS de Ingeniería - ICAI  
de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2020-2021 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de  
otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: 

Fecha: 18./07./2021

Autorizada la entrega del proyecto  
MARÍA DEL MAR CLEDERA CASTRO

Fdo.:

Fecha: ...../ ...../ .....

PILAR PALOMAR HERRERO

Fdo.:

Fecha: ...../ ...../ .....

*DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN  
SISTEMA DE DESODORIZACIÓN PARA LA  
REDUCCIÓN DE LOS OLORES GENERADOS  
EN EL PARQUE TECNOLÓGICO DE  
VALDEMINGÓMEZ DE MADRID*

*20 de julio de 2021*

---

---

## **AGRADECIMIENTOS**

---

---

Gracias a mis padres, Juanjo y Clara, y a mis hermanas, Patricia y Berta, por ayudarme a llegar hasta aquí y a convertirme en la persona que soy, creer en mí y apoyarme siempre que lo he necesitado.

A mis amigos, por estos seis años de carrera que seguro echaré de menos.

A mis tutoras, Mar y Pilar, por haberme orientado en la realización de este Trabajo y por despertar en mí el interés por el medio ambiente que ahora poseo.

---

---

## RESUMEN

---

---

**Título:** Diseño y dimensionamiento de un sistema de desodorización para la reducción de los olores generados en el Parque Tecnológico de Valdemingómez de Madrid.

**Autor:** Balbás de la Fuente, María

**Directores:** María del Mar Cledera Castro, Pilar Palomar Herrero

**Entidad colaboradora:** ICAI – Universidad Pontificia Comillas

**Palabras clave:** Residuos Sólidos Urbanos, Parque Tecnológico de Valdemingómez, olores, biometanización, compostaje, desodorización, biofiltración, absorción química.

### RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto aborda un problema real que, a día de hoy, se sufre en muchas áreas metropolitanas, no solo en España, sino en todo el mundo. Se trata de los olores derivados de la gestión de los residuos sólidos urbanos debido a un infra dimensionamiento de los sistemas de desodorización de estas plantas de gestión de residuos. Este problema se traduce en el malestar de muchos vecinos que viven en zonas cercanas (y no tan cercanas) a estas plantas.

El Trabajo comienza con un análisis detallado de las diferentes técnicas de gestión de residuos en función de su tipología: materia orgánica, plástico, vidrio, papel y cartón, etc. El principal objetivo que se persigue es la valorización de estos residuos, pero como se verá más adelante, el porcentaje de valorización actual sigue siendo insuficiente.

Los problemas de generación de olores surgen sobre todo del tratamiento de la materia orgánica. Así, para esta fracción, se tienen principalmente las siguientes técnicas:

- Biometanización o digestión anaerobia.
- Compostaje o digestión aerobia.

Después de este estudio, se analiza la situación tanto a nivel europeo como nacional, teniendo en cuenta para ello la legislación vigente.

El Trabajo se centra posteriormente en la problemática ocasionada por la generación de olores, definiendo primero los diferentes tipos de olores y las mejores técnicas para detectarlos, y después haciendo un análisis detallado de las principales técnicas de desodorización que existen en la actualidad:

- Sistemas de absorción química.
- Desodorización con carbón activo.
- Biofiltración.
- Desodorización con ozono.
- Quemadores de gas residual.

A continuación, se estudia en profundidad el funcionamiento del Parque Tecnológico de Valdemingómez, así como la problemática de olores del mismo, que cuenta con los siguientes centros:

- La Paloma.
- Las Lomas.
- Las Dehesas.
- La Galiana.

Por último, una vez conocidos todos los procesos de tratamiento de residuos y de desodorización, el Trabajo se enfoca en la Planta de Biometanización de Las Dehesas, para la cual se procede al dimensionamiento de un nuevo sistema de desodorización con el fin de reducir las emisiones de malos olores que provoquen las molestias de los vecinos que viven en los núcleos urbanos cercanos a la planta.

El objetivo es plantear un sistema de desodorización que pueda ser implementado en otras plantas de generación de residuos, de manera que la generación de malos olores se vaya reduciendo poco a poco y mejoren las condiciones de vida de las poblaciones próximas.



---

---

## PROJECT SUMMARY

---

---

**Title:** Design and dimensioning of a deodorization system to reduce the generation of odours at the Valdemingómez Technology Park of Madrid.

**Author:** Balbás de la Fuente, María

**Directors:** María del Mar Cledera Castro, Pilar Palomar Herrero

**Collaborating entity:** ICAI – Pontifical Comillas University

**Key words:** Urban Solid Waste, Valdemingómez Technology Park, odours, biomethanisation, composting, deodorisation, biofiltration, chemical absorption.

### PROJECT SUMMARY

This project addresses a real problem that, nowadays, is suffered in many metropolitan areas, not only in Spain, but all over the world. It is about the odours derived from the management of solid urban waste due to the under sizing of the deodorization systems of these waste management plants. This problem results in the discomfort of many neighbours living in areas close (and not so close) to these plants.

This work begins with a detailed analysis of the different waste management techniques according to their typology: organic matter, plastic, glass, paper and cardboard, etc. The main objective pursued is the recovery of these wastes, but as will be seen below, the current recovery rate is still insufficient.

The problems of odour generation arise mainly from the treatment of organic matter. Thus, for this fraction, the following techniques are mainly used:

- Biomethanisation or anaerobic digestion.
- Composting or aerobic digestion.

After this study, the situation is analysed both of European and national level, taking into account the legislation in force.

The Work focuses on the problem caused by the generation of odours, first defining the different types of odours and the best techniques for detecting them, and then making a detailed analysis of the main deodorisation techniques that currently exist:

- Chemical absorption systems.
- Deodorisation with activated carbon.
- Biofiltration.
- Ozone deodorisation.
- Waste gas burners.

The following is an in-depth study of the operation of the Valdemingómez Technology Park, as well as the odour problems at the park, which has the following centres:

- La Paloma.
- Las Lomas.
- Las Dehesas.
- La Galiana.

Finally, once all the waste treatment and deodorisation processes are known, the work focuses on the Biomethanisation Plant of Las Dehesas, for which a new deodorisation system is dimensioned in order to reduce the emissions of bad smells that cause nuisance to the neighbours living in the urban areas near the plant.

The objective is to propose a deodorisation system that can be implemented in other waste generation plants, so that the generation of unpleasant odours is gradually reduced and the living conditions of nearby populations are improved.

---

---

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

---

AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN.....	7
PROJECT SUMMARY.....	10
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	18
ÍNDICE DE TABLAS.....	22
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	24
1. INTRODUCCIÓN.....	28
1.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	28
1.2. OBJETIVOS.....	30
1.3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	32
1.4. RECURSOS A EMPLEAR.....	36
2. ESTADO DEL ARTE.....	38
2.1. ORIGEN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	38
2.2. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	40
2.3. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	44
2.3.1. <i>Evolución histórica del tratamiento de los residuos sólidos urbanos.....</i>	<i>44</i>
2.3.2. <i>Tratamiento de la materia orgánica.....</i>	<i>45</i>
2.3.2.1. Biometanización o digestión anaerobia.....	46
Etapas de la digestión anaerobia.....	47
Condicionantes.....	49
Tecnologías empleadas en la biometanización.....	50
Sistemas de biometanización.....	51
2.3.2.2. Compostaje o digestión aerobia.....	51
Etapas de la digestión aerobia.....	52
Condicionantes.....	52
Sistemas de compostaje.....	52

2.3.3.	<i>Tratamiento de otras fracciones</i> .....	54
2.3.3.1.	Tratamiento del plástico.....	54
	Reciclado mecánico de los plásticos.....	54
	Reciclado químico de los plásticos.....	55
	Valorización energética de los plásticos.....	55
2.3.3.2.	Tratamiento del vidrio.....	55
2.3.3.3.	Tratamiento del papel y cartón.....	55
2.3.3.4.	Tratamiento de los metales.....	55
2.3.4.	<i>Incineración</i> .....	56
2.3.4.1.	Incineración térmica.....	57
2.3.4.2.	Incineración catalítica.....	57
2.3.4.3.	Comparación entre incineración catalítica y térmica.....	57
2.3.5.	<i>Depósito en vertedero</i> .....	58
2.4.	GESTIÓN DE LOS RESIDUOS A NIVEL EUROPEO.....	60
2.4.1.	<i>Normativa europea de gestión de residuos</i> .....	63
2.4.2.	<i>Normativa europea sobre olores</i> .....	64
2.5.	GESTIÓN DE RESIDUOS A NIVEL NACIONAL.....	66
2.5.1.	<i>Normativa nacional de gestión de residuos</i> .....	69
2.5.2.	<i>Normativa nacional sobre olores</i> .....	69
2.6.	PROBLEMÁTICA DE OLORES.....	72
2.6.1.	<i>Características y tipos de olores</i> .....	72
2.6.2.	<i>Factores que influyen en la dispersión de olores</i> .....	74
2.6.3.	<i>Sistemas de control de olores</i> .....	76
2.6.3.1.	Control de emisiones.....	76
	Caracterización de los focos de emisión.....	77
	Metodología de la pluma belga.....	77
	Caracterización química.....	77
2.6.3.2.	Control de inmisiones.....	78
	Modelización de la dispersión atmosférica de los olores.....	78
	Método de la malla o metodología VDI 3940.....	79
	Narices electrónicas o enoses.....	79
	Cromatografía de gases.....	79

2.7.	SISTEMAS DE DESODORIZACIÓN .....	82
2.7.1.	<i>Definición y características</i> .....	82
2.7.2.	<i>Procesos y tecnologías actuales de desodorización</i> .....	82
2.7.2.1.	Lavado o absorción química .....	82
	Tipos de torres de absorción .....	83
	Disposición de los sistemas de absorción química .....	86
	Parámetros de diseño .....	87
2.7.2.2.	Sistemas con carbón activo .....	87
	Tecnología de adsorción por carbón activo .....	88
	Tipos de carbón activo .....	89
	Parámetros de diseño .....	91
2.7.2.3.	Sistemas de biofiltración .....	91
	Tipo de relleno del biofiltro .....	94
	Tipos de biofiltros .....	96
	Parámetros de diseño .....	100
2.7.2.4.	Sistemas de oxidación con ozono .....	100
2.7.2.5.	Quemadores de gas residual .....	101
2.8.	OPERACIÓN DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ .....	104
2.8.1.	<i>Centro de tratamiento La Paloma</i> .....	106
2.8.1.1.	Planta de separación y clasificación de La Paloma .....	107
2.8.1.2.	Planta de compostaje de La Paloma .....	109
2.8.1.3.	Planta de recuperación de lixiviados de La Paloma .....	110
2.8.1.4.	Planta de biometanización de La Paloma .....	111
2.8.2.	<i>Centro de tratamiento Las Lomas</i> .....	112
2.8.2.1.	Planta de separación y clasificación de Las Lomas .....	113
2.8.2.2.	Planta de compostaje de Las Lomas .....	114
2.8.2.3.	Planta de valorización energética de Las Lomas .....	114
2.8.3.	<i>Centro de tratamiento Las Dehesas</i> .....	115
2.8.3.1.	Planta de separación y clasificación de Las Dehesas .....	116
2.8.3.2.	Área de tratamiento de residuos voluminosos de Las Dehesas .....	117
2.8.3.3.	Planta de compostaje de Las Dehesas .....	118
2.8.3.4.	Planta de incineración de restos de animales de Las Dehesas .....	119

2.8.3.5.	Planta de tratamiento de plásticos de Las Dehesas .....	119
2.8.3.6.	Planta de tratamiento de lixiviados de Las Dehesas .....	120
2.8.3.7.	Área de transferencia de rechazos de procesos de Las Dehesas .....	121
2.8.3.8.	Depósito controlado en el vertedero de Las Dehesas .....	121
2.8.3.9.	Planta de biometanización de Las Dehesas .....	122
2.8.4.	<i>Centro de tratamiento La Galiana .....</i>	<i>122</i>
2.8.4.1.	Sistema de desgasificación de La Galiana .....	123
2.8.4.2.	Parque forestal de Valdemingómez .....	124
2.8.5.	<i>Estaciones depuradoras de aguas residuales en el entorno del parque</i>	<i>124</i>
2.9.	PROBLEMÁTICA DE OLORES EN EL PARQUE TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ	126
2.9.1.	<i>Principales focos de malos olores en el parque .....</i>	<i>126</i>
2.9.2.	<i>Emisiones detectadas en el parque.....</i>	<i>130</i>
2.9.2.1.	Emisiones en la planta de tratamiento de biogás .....	131
2.9.2.2.	Emisiones en el centro de tratamiento Las Lomas.....	132
2.9.2.3.	Emisiones en el centro de tratamiento La Paloma .....	132
2.9.2.4.	Emisiones en la planta de biometanización de La Paloma .....	133
2.9.2.5.	Emisiones en la planta de separación y clasificación de Las Dehesas	134
2.9.2.6.	Emisiones en la planta de compostaje de Las Dehesas.....	134
2.9.2.7.	Emisiones en el vertedero de Las Dehesas .....	135
2.9.2.8.	Emisiones en la planta de biometanización de Las Dehesas .....	135
2.9.2.9.	Tabla resumen de las tasas de emisión de cada foco .....	135
2.9.3.	<i>Sistemas de desodorización en el Parque Tecnológico de Valdemingómez</i>	<i>136</i>
2.9.3.1.	Sistemas de desodorización en La Paloma .....	137
2.9.3.2.	Sistemas de desodorización en Las Lomas .....	137
2.9.3.3.	Sistemas de desodorización en Las Dehesas .....	137
2.9.3.4.	Sistemas de desodorización en la planta de tratamiento de biogás de La Galiana	138
2.9.4.	<i>Tipos de olores en el parque y su impacto en la población .....</i>	<i>140</i>
3.	ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESODORIZACIÓN DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS .....	142

3.1.	PROCESOS SEGUIDOS EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS	144
3.1.1.	<i>Pretratamiento</i>	144
3.1.2.	<i>Proceso en digestores</i>	148
3.1.3.	<i>Tratamiento del biogás</i>	149
3.1.4.	<i>Tratamiento del digesto</i>	150
3.2.	DIMENSIONES DE LAS INSTALACIONES	154
	Nave de pretratamiento	154
	Nave de deshidratación y acopio de digesto	157
3.3.	EMISIONES Y FOCOS DE OLORES EN LA PLANTA	160
3.4.	SISTEMA DE DESODORIZACIÓN EXISTENTE	164
	Nave de pretratamiento	164
	Nave de deshidratación y acopio del digesto	165
3.5.	DIMENSIONAMIENTO DEL NUEVO SISTEMA DE DESODORIZACIÓN	170
3.5.1.	<i>Mejoras propuestas</i>	170
3.5.2.	<i>Dimensionamiento del sistema de extracción</i>	171
3.5.2.1.	Determinación del número de renovaciones por hora	171
3.5.2.2.	Cálculo del caudal extraído en cada estancia	173
3.5.2.3.	Dimensionamiento de los conductos de extracción	174
	Conductos de la zona FORS	175
	Conductos de los fosos de descarga	176
	Conductos de la zona de triaje y clasificación	176
	Conductos de la nave de deshidratación	177
	Conductos de la nave de acopio de digesto	177
3.5.2.4.	Dimensionamiento de las rejillas para la entrada de aire del exterior	178
	Rejillas para aspiración de aire exterior en zona FORS	178
	Rejillas para aspiración de aire exterior en fosos de descarga	179
	Rejillas para aspiración de aire exterior en zona de triaje y clasificación	179
	Rejillas para aspiración de aire exterior en la nave de deshidratación	180
	Rejillas para aspiración de aire exterior en la nave de acopio de digesto	181
3.5.2.5.	Dimensionamiento de las rejillas de extracción	182
	Rejillas de extracción zona FORS	182
	Rejillas de extracción en fosos de descarga	183

Rejillas de extracción en zona de triaje y clasificación .....	183
Rejillas de extracción en nave de deshidratación .....	184
Rejillas de extracción de la nave de acopio de digesto .....	184
3.5.2.6. Selección extractores .....	185
3.5.3. <i>Dimensionamiento del sistema de desodorización</i> .....	186
3.5.3.1. Propuesta 1: implantación de un único biofiltro .....	196
3.5.3.2. Propuesta 2: implantación de tres biofiltros.....	199
3.5.3.3. Elementos comunes a ambas propuestas .....	203
4. VALORACIÓN ECONÓMICA .....	204
Coste sistema de extracción .....	204
Coste biofiltros.....	205
5. CONCLUSIONES .....	208
ANEXO I. CÁLCULOS.....	210
Diagrama psicrométrico .....	210
Cálculo dimensionamiento biofiltros.....	211
Cálculos dimensionamiento chimeneas .....	212
ANEXO II. CATÁLOGOS .....	214
Catálogo modelo de rejilla CIRM-10 .....	214
Catálogo extractores .....	215
Catálogo arcilla expandida.....	216
BIBLIOGRAFÍA .....	218

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

---

FIGURA 1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....	34
FIGURA 2. FUENTES DE GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS [9].....	41
FIGURA 4. RECOGIDA DE RESIDUOS EN LA CIUDAD DE MADRID ANTIGUAMENTE [16] .....	45
FIGURA 4. INSTALACIONES DE DIGESTIÓN ANAEROBIA EN PLANTA ECOPARC DEL BESOS, S.A. [21].....	47
FIGURA 5. DIFERENTES ETAPAS EN EL PROCESO DE BIOMETANIZACIÓN [25] .....	49
FIGURA 6. DIFERENCIAS ENTRE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA VÍA HÚMEDA Y VÍA SECA [25] .....	50
FIGURA 7. TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN LA UNIÓN EUROPEA [36].....	62
FIGURA 8. JERARQUÍA EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN LA UNIÓN EUROPEA Y ESPAÑA [98] .....	66
FIGURA 9. TÉCNICAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS EN ESPAÑA. AÑO 2018 [41].....	67
FIGURA 10. GESTIÓN DE RESIDUOS SEGÚN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA. AÑO 2018 [41]	68
FIGURA 11. PANELISTAS EN LABORATORIO OLFATOMÉTRICO [48] .....	75
FIGURA 12. FASES EN EL MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE OLORES [40] .....	78
FIGURA 13. PLATOS DE CAMPANAS DE BARBOTEADO [55] .....	84
FIGURA 14. PLATOS PERFORADOS [55] .....	84
FIGURA 15. PLATOS DE VÁLVULAS [55].....	85
FIGURA 16. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE SISTEMA DE DESODORIZACIÓN POR LAVADO QUÍMICO [52].....	86
FIGURA 17. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE DESODORIZACIÓN CON CARBÓN ACTIVO [29]	89
FIGURA 18. CURVAS DE AVANCE: EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA CORRIENTE TRATADA A LO LARGO DEL TIEMPO [57] .....	93
FIGURA 19. CURVA DE SATURACIÓN DEL BIOFILTRO [57].....	93
FIGURA 20. BIOFILTRO ABIERTO DE RELLENO ORGÁNICO [6] [58].....	95
FIGURA 21. BIOFILTRO DE MEDIO INORGÁNICO UTILIZADO EN LA PLANTA ECOPARC DEL BESOS, S.A. [21] .....	96
FIGURA 22. COMPARACIÓN ENTRE RELLENO ORGÁNICO E INORGÁNICO [6].....	96

FIGURA 23. ESQUEMA GENERAL DE FUNCIONAMIENTO DE UN BIOFILTRO CONVENCIONAL [60] .....	97
FIGURA 24. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS BIOLAVADORES [60] .....	98
FIGURA 25. VISTA AÉREA DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ [63] .....	104
FIGURA 26. ESQUEMA DE LAS PLANTAS QUE CONFORMAN EL PARQUE TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ [6] .....	106
FIGURA 27. ESQUEMA GENERAL DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LA PALOMA [63] .	107
FIGURA 28. PROCESO DE SEPARACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LA PALOMA [63] .....	109
FIGURA 29. PROCESO DE COMPOSTAJE DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LA PALOM [63] .....	110
FIGURA 30. PROCESO DE RECUPERACIÓN DE LIXIVIADOS DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LA PALOMA [63] .....	111
FIGURA 31. PROCESO SEGUIDO EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LA PALOMA [63] .....	112
FIGURA 32. ESQUEMA GENERAL DEL CENTRO DE TRATAMIENTO LAS LOMAS [63].....	113
FIGURA 33. PROCESO DE SEPARACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS LOMAS [63].....	113
FIGURA 36. PROCESO DE COMPOSTAJE DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS LOMAS [63] .....	114
FIGURA 35. PROCESOS SEGUIDOS EN EL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS DEHESAS [63] .....	116
FIGURA 36. PROCESO SEGUIDO EN LA PLANTA DE SEPARACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS DEHESAS [63] .....	117
FIGURA 37. PROCESO SEGUIDO EN EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS VOLUMINOSOS DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS DEHESAS [63] .....	118
FIGURA 38. PROCESO SEGUIDO EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE Y AFINO DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS DEHESAS [63] .....	119
FIGURA 39. PROCESO SEGUIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE PLÁSTICOS DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS DEHESAS [63] .....	120
FIGURA 40. PROCESO SEGUIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL CENTRO DE TRATAMIETNO DE LAS DEHESAS [63] .....	121

FIGURA 41. ESQUEMA DEL VERTEDERO DEL CENTRO DE TRATAMIENTO DE LAS DEHESAS [63] .....	122
FIGURA 42. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE BIOGÁS EN EL CENTRO DE TRATAMIENTO LA GALIANA [63].....	123
FIGURA 43. PUNTOS DE MUESTREO EN EL PARQUE PARA EL ANÁLISIS DE MALOS OLORES. PARTE 1 [6] [40] .....	127
FIGURA 44. PUNTOS DE MUESTREO EN EL PARQUE PARA EL ANÁLISIS DE MALOS OLORES. PARTE 2 [6] [40] .....	128
FIGURA 45. FOCOS DE GENERACIÓN DE MALOS OLORES EN EL PARQUE. PARTE 1 [6] [40] .....	129
FIGURA 46. FOCOS DE GENERACIÓN DE MALOS OLORES EN EL PARQUE. PARTE 2 [6] [40] .....	130
FIGURA 47. VISTA PANORÁMICA DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [65] .....	144
FIGURA 48. FOSOS DE RECEPCIÓN DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [58] .....	146
FIGURA 49. TRÓMELES PARA LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS VOLUMINOSOS Y OTRAS IMPUREZAS DE LA MATERIA ORGÁNICA [58] .....	147
FIGURA 50. VISTA EN PLANTA DE UN DIGESTOR ANAEROBIO [6] .....	148
FIGURA 51. DIGESTORES ANAEROBIOS DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [58].....	149
FIGURA 52. TAMICES PARA LA DESHIDRATACIÓN DEL DIGESTO EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [58] .....	151
FIGURA 53. CENTRÍFUGAS PARA LA DESHIDRATACIÓN DEL DIGESTO EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [58] .....	152
FIGURA 54. PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DEL DIGESTO [6] .....	153
FIGURA 55. PLANTA Y ALZADO DE LA NAVE DE PRETRATAMIENTO DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS. DETALLE DE LOS FOSOS DE DESCARGA [66]	155
FIGURA 56. PLANTA Y ALZADO DE LA NAVE DE PRETRATAMIENTO DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS. DETALLE DE LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN Y DE LA ZONA DE FORS [66] .....	156

FIGURA 57. CONDUCTOS DE CAPTACIÓN DE AIRE EN LA ZONA DE PRETRATAMIENTO [6] [58] .....	165
FIGURA 58. CONDUCTOS DE VENTILACIÓN EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN [6] [68]..	166
FIGURA 59. CONDUCTOS DE CAPTACIÓN LOCALIZADA EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN [6] [68] .....	167
FIGURA 60. VISTA DE PÁJARO DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [6] [75] .....	189
FIGURA 61. ESPACIOS DISPONIBLES EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS PARA LA INSTALACIÓN DE BIOFILTROS [6] [75].....	190
FIGURA 62. ALTURA CONSTRUCTIVA (H), ALTURA EFECTIVA (H) Y ALTURA DEL PENACHO( $\Delta h$ ) [77] .....	193
FIGURA 63. DISPERSIÓN DEL PENACHO EN UNA ATMÓSFERA NEUTRAL [77] .....	194
FIGURA 64. EMPLAZAMIENTO DEL BIOFILTRO. PROPUESTA 1 [6] [75] .....	197
FIGURA 65. EMPLAZAMIENTO DE LOS BIOFILTROS. PROPUESTA 2 [6] [75].....	201
FIGURA 75. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS ARCILLA EXPANDIDA [83] .....	216

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

---

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS [6] .....	39
TABLA 2. COMPOSICIÓN DE LOS RSU EN ESPAÑA [8].....	40
TABLA 3. PRODUCCIÓN DE RSU POR HABITANTE [10].....	42
TABLA 4. COMPARATIVA ENTRE INCINERACIÓN TÉRMICA E INCINERACIÓN CATALÍTICA [29] .....	58
TABLA 5. VALORES LÍMITE AMBIENTALES DE EXPOSICIÓN A GASES TÓXICOS [44] .....	70
TABLA 6. SUSTANCIAS CAUSANTES DE MALOS OLORES [45].....	73
TABLA 7. TABLA COMPARATIVA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE DESODORIZACIÓN [6] .....	102
TABLA 8. RESUMEN DE LAS EMISIONES DE LOS FOCOS DE GENERACIÓN DE OLORES [6] [40] .....	136
TABLA 9. TIPOS DE OLORES DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ ASOCIADOS A SUS FOCOS DE GENERACIÓN [40] .....	140
TABLA 10. TABLA RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DE LA NAVE DE PRETRATAMIENTO [6] .....	157
TABLA 11. TABLA RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DE LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN Y ACOPIO DE DIGESTO [6].....	157
TABLA 12. TASAS DE EMISIÓN EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [40] .....	162
TABLA 13. CAUDALES EXTRAÍDOS Y SU DESTINO EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS [66].....	168
TABLA 14. DIMENSIONES Y VOLÚMENES DE LAS ESTANCIAS A DESODORIZAR .....	170
TABLA 15. RANGOS DE RENOVACIONES POR HORA RECOMENDADAS SEGÚN TIPO DE INDUSTRIA. NORMA DIN 1946 [70].....	172
TABLA 16. CAUDALES EXTRAÍDOS DE CADA ESTANCIA A DESODORIZAR .....	174
TABLA 17. COMPARATIVA ENTRE EL CAUDAL EXTRAÍDO ACTUALMENTE Y EL QUE SE EXTRAERÍA SEGÚN LA PROPUESTA .....	174
TABLA 18. DIÁMETRO DEL CONDUCTO DE LA ZONA FORs .....	176
TABLA 19. DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS DE LA ZONA DE LOS FOSOS DE RECEPCIÓN..	176

TABLA 20. DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS DE LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN ...	177
TABLA 21. DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS DE LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN ...	177
TABLA 22. DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS DE LA NAVE DE ACOPIO DE DIGESTO.....	178
TABLA 23. REJILLAS DE VENTILACIÓN COLOCADAS EN LAS ESTANCIAS A DESODORIZAR .....	182
TABLA 24. NÚMERO DE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN CADA ESTANCIA.....	185
TABLA 25. EXTRACTORES ESCOGIDOS PARA LOS CONDUCTOS DE VENTILACIÓN .....	186
TABLA 26. PARÁMETROS DE LAS ECUACIONES DE MARTIN.....	196
TABLA 27. DISEÑO DEL CONDUCTO DEL CAUDAL DE LA ZONA FORS Y LOS FOSOS DE DESCARGA .....	198
TABLA 28. REPARTO DEL CAUDAL ENTRE LOS PISOS DEL BIOFILTRO. PROPUESTA 1 .....	198
TABLA 29. REPARTO DEL CAUDAL ENTRE LOS PISOS DEL BIOFILTRO 1. PROPUESTA 2 ...	202
TABLA 30. REPARTO DEL CAUDAL ENTRE LOS PISOS DEL BIOFILTRO 2. PROPUESTA 2 ...	202
TABLA 31. REPARTO DEL CAUDAL ENTRE LOS PISOS DEL BIOFILTRO 3. PROPUESTA 2 ...	202
TABLA 32. ANÁLISIS ECONÓMICO RED DE VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN .....	205
TABLA 33. PRECIO DEL RELLENO DEL BIOFILTRO EN LAS DIFERENTES PROPUESTAS .....	206
TABLA 34. CÁLCULOS DIMENSIONAMIENTO BIOFILTROS .....	211
TABLA 35. CÁLCULO DIMENSIONAMIENTO CHIMENEAS.....	212

---

---

## ÍNDICE DE ECUACIONES

---

---

ECUACIÓN 1. TASA DE CRECIMIENTO DE BIOMASA EN UN BIOFILTRO [60] .....	99
ECUACIÓN 2. CÁLCULO TASA DE EMISIÓN EN LOS FOSOS DE DESCARGA .....	160
ECUACIÓN 3. CÁLCULO TASA DE EMISIÓN EN LA ZONA FORS .....	161
ECUACIÓN 4. CÁLCULO TASA DE EMISIÓN DE LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN .....	161
ECUACIÓN 5. CÁLCULO TASA DE EMISIÓN EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN .....	161
ECUACIÓN 6. CÁLCULO TASA DE EMISIÓN EN LA NAVE DE ACOPIO DE DIGESTO .....	161
ECUACIÓN 7. CÁLCULO TASA DE EMISIÓN A LA SALIDA DEL BIOFILTRO .....	162
ECUACIÓN 8. CAUDAL TOTAL EXTRAÍDO DE LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS .....	164
ECUACIÓN 9. CÁLCULO CAUDAL EXTRAÍDO EN EXTRACCIONES LOCALIZADAS EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN .....	166
ECUACIÓN 10. CÁLCULO DEL NÚMERO DE RENOVACIONES A LA HORA EN UNA ESTANCIA .....	167
ECUACIÓN 11. CÁLCULO DEL CAUDAL EXTRAÍDO EN CADA ESTANCIA EN FUNCIÓN DE SU VOLUMEN Y LAS RENOVACIONES POR HORA .....	173
ECUACIÓN 12. CÁLCULO DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS DE EXTRACCIÓN .....	175
ECUACIÓN 13. CÁLCULO REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA ZONA FORS .....	178
ECUACIÓN 14. CÁLCULO REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LOS FOSOS DE DESCARGA .....	179
ECUACIÓN 15. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LOS FOSOS DE DESCARGA .....	179
ECUACIÓN 16. CÁLCULO REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LOS FOSOS DE DESCARGA .....	179
ECUACIÓN 17. CÁLCULO DEL ESPACIO DISPONIBLE PARA LA COLOCACIÓN DE REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN .....	180
ECUACIÓN 18. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN .....	180
ECUACIÓN 19. NÚMERO REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN .....	180
ECUACIÓN 20. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN .....	181

ECUACIÓN 21. NÚMERO DE REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA NAVE DE ACOPIO DE DIGESTO .....	181
ECUACIÓN 22. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE VENTILACIÓN EN LA NAVE DE ACOPIO DE DIGESTO.....	181
ECUACIÓN 23. NÚMERO DE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA ZONA FORS.....	183
ECUACIÓN 24. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA ZONA FORS .....	183
ECUACIÓN 25. NÚMERO DE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LOS FOSOS DE DESCARGA.....	183
ECUACIÓN 26. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LOS FOSOS DE DESCARGA .....	183
ECUACIÓN 27. NÚMERO DE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN .....	183
ECUACIÓN 28. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA ZONA DE TRIAJE Y CLASIFICACIÓN .....	184
ECUACIÓN 29. NÚMERO DE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN .....	184
ECUACIÓN 30. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA NAVE DE DESHIDRATACIÓN .....	184
ECUACIÓN 31. NÚMERO REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA NAVE DE ACOPIO DE DIGESTO	184
ECUACIÓN 32. DISTANCIA ENTRE REJILLAS DE EXTRACCIÓN EN LA NAVE DE ACOPIO DE DIGESTO.....	185
ECUACIÓN 33. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DEL BIOFILTRO .....	191
ECUACIÓN 34. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL BIOFILTRO .....	191
ECUACIÓN 35. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES A LA SALIDA DEL BIOFILTRO.....	192
ECUACIÓN 36. ECUACIÓN DE LOS GASES IDEALES .....	192
ECUACIÓN 37. CÁLCULO FLUJO MÁSSICO DE LA CORRIENTE A TRATAR.....	192
ECUACIÓN 38. CÁLCULO DEL CAUDAL DE AGUA REQUERIDO POR EL BIOFILTRO .....	193
ECUACIÓN 39. CÁLCULO SECCIÓN CHIMENEA [78].....	194
ECUACIÓN 40. CÁLCULO DEL FLUJO DE FLOTACIÓN [77].....	194
ECUACIÓN 41. CÁLCULO DISTANCIA HASTA EL FINAL DE LA ELVACIÓN DE LA COLUMNA EN DIRECCIÓN DEL VIENTO [79].....	195
ECUACIÓN 42. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL PENACHO [77] .....	195

ECUACIÓN 43. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL PUNTO DE INMISIÓN [77] .....	195
ECUACIÓN 44. ECUACIONES DE MARTIN [77].....	196
ECUACIÓN 45. CONCENTRACIÓN DE NH <sub>3</sub> A LA SALIDA DEL BIOFILTRO .....	203
ECUACIÓN 46. CONCENTRACIÓN DE H <sub>2</sub> S A LA SALIDA DEL BIOFILTRO .....	203
ECUACIÓN 47. CONCENTRACIÓN DE R-SH A LA SALIDA DEL BIOFILTRO .....	203



---

---

# 1. INTRODUCCIÓN

---

---

## 1.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

---

---

Este Trabajo surge ante el problema que, a día de hoy, sufren miles de vecinos que viven en las poblaciones próximas al Parque Tecnológico de Valdemingómez de Madrid: la generación de malos olores en los procesos de gestión y valorización de residuos que se llevan a cabo en el Parque. Un problema que pasa desapercibido entre aquellos que no lo sufren, pero que persiste a pesar de las numerosas quejas impuestas a lo largo de los años.

Esto surge debido a un infra dimensionamiento de las instalaciones encargadas de la gestión de los residuos sólidos urbanos, lo que provoca que los contaminantes generados no sean procesados de manera correcta, y terminen llegando a núcleos urbanos.

Esta situación afecta a cerca de 108.500 vecinos de las siguientes áreas: Ensanche de Vallecas, urbanizaciones de Rivas y barrio de Perales del Río en Getafe. Además, en ocasiones, estos contaminantes pueden dispersarse hasta alcanzar las zonas del Puente de Vallecas, Vicálvaro y Moratalaz. El mayor o menor grado de dispersión dependerá de varios factores, como se expondrá a lo largo de este Trabajo.

El problema se acentúa ante la ausencia de una legislación clara que regule la generación de contaminantes causantes de malos olores, y debido también a la dificultad que atañe el establecimiento de un umbral máximo para este tipo de contaminantes. En general, las emisiones generadas son reducidas, pero la alta sensibilidad olfativa que poseemos las personas hace que, incluso concentraciones bajas, sean detectadas, ocasionando graves perjuicios si sumamos que esta exposición se produce durante un periodo de tiempo continuado.

Las numerosas quejas de los vecinos, así como los continuos informes odoríferos presentados que corroboran estas quejas, hicieron que durante el Gobierno de Manuela Carmena al frente del Ayuntamiento de Madrid, en los años 2015 y 2016, se aprobase la instalación de nuevos sistemas de desodorización que redujesen los olores. Sin embargo, el nuevo equipo de Gobierno al frente del Ayuntamiento de la capital anuló este contrato al considerar esta inversión, de 12,5 millones de euros, como innecesaria [1]. Si bien es cierto que, durante los últimos meses, se han aprobado concursos públicos para la mejora de las instalaciones de algunos centros del Parque (como es el caso de las plantas de biometanización de La Paloma y Las Dehesas), es necesario que este problema se haga aún más visible y sea abordado en su totalidad.

Pero la realidad a día de hoy es que el problema persiste y no se han aportado suficientes soluciones para disminuir las emisiones de contaminantes y mejorar la vida de todas las personas afectadas.

Con este Trabajo, se pretenden dar soluciones reales que puedan aplicarse en plantas de gestión de residuos. Aunque el Estudio se llevará a cabo en base al Parque Tecnológico de Valdemingómez, las ideas que se contemplen podrán ser extrapoladas a otras situaciones.

---

---

## 1.2. OBJETIVOS

---

---

Los principales objetivos que se abordan en este Trabajo son:

- Estudio de los diferentes métodos de gestión de los Residuos Sólidos Urbanos, tanto a nivel europeo como a nivel nacional
- Conocimiento sobre la legislación vigente en materia de gestión de residuos y emisiones de malos olores.
- Estudio de los diferentes contaminantes causantes de malos olores y la mejor forma de determinarlos.
- Análisis de las técnicas actuales de desodorización.
- Análisis de la operación de los diferentes centros que conforman el Parque Tecnológico de Valdemingómez, así como de los focos de generación de malos olores en el mismo.
- Estudio en mayor profundidad de la operación y la generación de malos olores en la Planta de Biometanización del Centro Las Dehesas.
- Dimensionamiento de un nuevo sistema de desodorización en la Planta de Biometanización de Las Dehesas.



---

### 1.3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

---

Por otra parte, el Trabajo está claramente alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Estos Objetivos, 17 en total, fueron definidos por la Organización de las Naciones Unidas en el año 2015 para acabar con la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Cada objetivo tiene unas metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.

El desarrollo sostenible es aquel que busca satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las necesidades de generaciones futuras.

Habrà una focalización hacia los siguientes ODS [2]:

- **Salud y bienestar.** Basado en el principio de que garantizar una vida sana y promover el bienestar es esencial para el desarrollo sostenible.

Se pretenden proponer soluciones que pueden acabar con los malos olores que muchos vecinos de Madrid tienen que soportar. Dado que este es un problema que se presenta en muchas áreas metropolitanas de todo el mundo, se podrían aplicar las soluciones propuestas en el proyecto a muchos de estos lugares, con lo que la vida de muchas personas mejoraría cualitativamente.

- **Industria, innovación e infraestructura.** El objetivo es la construcción de infraestructuras resistentes, promover la industrialización y fomentar la innovación, lo cual conlleva un crecimiento económico al generar ingresos y crear empleo.

Se pondrá de manifiesto la importancia de la innovación en las infraestructuras. Los malos olores se originan debido a un infra-dimensionamiento de los sistemas de desodorización. Planteando un sistema más novedoso que permita la eliminación completa de estas emisiones, el problema se vería solucionado. Será necesario dar una solución que sea duradera en el tiempo y que suponga realmente una mejora de la situación actual.

- **Reducción de las desigualdades.** Para la Organización de las Naciones Unidas, la desigualdad es un motivo de preocupación, por lo que con este objetivo se pretende garantizar que el desarrollo es equitativo entre todas las personas, independientemente del lugar en el que vivan.

El problema de los malos olores pone de manifiesto una clara desigualdad entre los diferentes ciudadanos que viven en la ciudad de Madrid. Es necesario que se aborde esta

situación para que las diferencias sociales se reduzcan y la calidad de vida en los diferentes barrios de la capital sea equiparable.

- **Ciudades y comunidades sostenibles.** Durante los últimos años ha ido aumentando el porcentaje de población mundial que vive en ciudades. Este porcentaje alcanzó el 50% en 2007, y se espera que alcance el 60% en 2030.

Por ello es necesario hacer que las ciudades sean sostenibles, seguras, resistentes e inclusivas. Este Trabajo propondrá una serie de soluciones que permitirán que la ciudad de Madrid sea más inclusiva con todos sus vecinos.

- **Producción y consumo responsables.** La manera en la que actualmente se explota el medio ambiente para conseguir recursos es completamente insostenible. El consumo descontrolado provoca en gran medida este problema, por lo que, gestionándolo, se podría encontrar una solución.

Este Trabajo no está directamente relacionado con los ámbitos de consumo y la explotación de los recursos naturales, pero indirectamente, el problema de falta de capacidad en las plantas de gestión de residuos y en los vertederos, es debido a un consumo insostenible.

- **Vida de ecosistemas terrestres.** Pretende gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

Este objetivo tampoco está directamente relacionado con el tema que se va a tratar, pero es necesario nombrarlo debido a que, en el proceso de gestión de Residuos Sólidos Urbanos, uno de los componentes que se obtiene es digesto, el cual constituye un componente fundamental del compost utilizado en el tratamiento de la tierra. Por ello, diseñando sistemas más eficientes para la eliminación de estos residuos, se podría obtener mayor cantidad de compost, lo cual repercute directamente en el estado de la biodiversidad de los suelos.

- **Paz, justicia e instituciones sólidas.** Se busca promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas, ya que los conflictos, la inseguridad, las instituciones débiles y el acceso limitado a la justicia, continúan siendo un problema muy grave que resulta mucho más común de lo que debería.

Las quejas de los vecinos que sufren de los problemas de olores han sido continuadas y fundamentadas, pero sucesivamente han visto que por parte de los organismos políticos se ha dado importancia nula a estas reivindicaciones. Esta situación debería quedar solucionada de manera inmediata, y entre las obligaciones de los partidos políticos que se encuentran al mando está la de dar una respuesta a este problema.



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible



---

---

#### **1.4. RECURSOS A EMPLEAR**

---

---

Para la recopilación de información sobre datos actuales relacionados con la gestión de residuos y los olores, se ha recurrido a portales estadísticos, tanto a nivel nacional como europeo.

Por otra parte, ha sido necesaria la consulta de infinidad de bibliografía para conocer con detalle los diferentes sistemas de desodorización.

Ha sido muy importante comprender el funcionamiento del Parque Tecnológico de Valdemingómez, más concretamente, de la Planta de Biometanización de Las Dehesas. Para ello, ha sido necesario el intercambio de información con el personal del Parque, así como la visita a las instalaciones, a través de la colaboración de la empresa FCC Medio Ambiente, S.A.U., que actualmente se encarga de la explotación de esta Planta. Esta colaboración ha sido clave para una mayor comprensión de los procesos seguidos en la Planta, así como para poder acceder a información de rigor.



---

---

## **2. ESTADO DEL ARTE**

---

---

### **2.1. ORIGEN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS**

---

---

Según la Ley 22/2011 [3], un residuo se define como:

“Cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar”.

La Decisión 2000/532/CE [4] establece una clasificación de residuos que consta de hasta 20 categorías según su origen, con sus correspondientes subcategorías.

Sin embargo, esta clasificación puede parecer demasiado amplia y algo complicada. Es por ello que se recurre a otra catalogación, atendiendo al origen de los residuos, su biodegradabilidad y su composición. Esta clasificación se muestra en la Tabla 1 [5]:

SEGÚN SU ORIGEN	Residuos domiciliarios	Producidos en domicilios, oficinas, locales comerciales, centros de educación y restaurantes. Pueden encontrarse sustancias peligrosas en estos residuos, tales como pinturas, pesticidas o insecticidas. <b>Los Residuos Sólidos Urbanos pertenecen a este grupo.</b>
	Residuos municipales	Procedentes de actividades de limpieza de los núcleos urbanos
	Residuos sólidos industriales	Procedentes de actividades industriales
	Residuos hospitalarios	Reciben un tratamiento específico debido a su potencial peligrosidad
	Residuos de construcción	Difíciles de gestionar debido al elevado volumen de generación que representan
SEGÚN SU BIODEGRADABILIDAD	Residuos orgánicos	Aquellos susceptibles a descomposición. Durante este proceso, pueden ocasionar problemas de contaminación
	Residuos inorgánicos	No poseen la capacidad de descomponerse y tardan mucho en desintegrarse, por lo que es muy importante su reciclaje y reutilización
SEGÚN SU COMPOSICIÓN	Papel y cartón	
	Vidrio	
	Chatarra y metal	Sobre todo cobre, estaño, aluminio y acero
	Pinturas y aceites	Entran en la categoría de peligrosos
	Plásticos	
	Baterías y pilas	Poseen cobre, aluminio y litio, por lo que se presta especial atención a su reciclaje

Tabla 1. Clasificación de los residuos [6]

## 2.2. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son aquellos residuos generados en núcleos urbanos o en sus zonas de influencia. Se clasifican como residuos no peligrosos.

Estos residuos pueden ser de los siguientes tipos [7] [8]:

- Materia orgánica: restos de comida, de limpieza o de poda.
- Papel y cartón: se podría hacer una clasificación diferenciando entre periódicos, revistas, cartones, etc.
- Plásticos: botellas, bolsas, embalajes, bricks, tetrabricks y todo envase plástico. También en este grupo se agrupan diferentes polímeros: policloruro de vinilo, polietileno tereftalato, polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno y poliestireno.
- Metales: latas de conserva, botes de bebidas y refrescos.
- Vidrio: botellas, frascos diversos y elementos de vajillas de cristal.
- Maderas: sobre todo restos de muebles.
- Textiles: ropa y elementos decorativos del hogar.
- Otros: electrodomésticos, TV, ordenadores, pilas y baterías.

La composición de los residuos sólidos urbanos está estrechamente ligada al desarrollo de un país. Cuanto mayor es el desarrollo, menor es el porcentaje de componentes orgánicos y mayor el del resto de elementos, tales como plásticos, vidrio o papel y cartón:

Componente	Porcentaje máximo	Porcentaje mínimo	Porcentaje medio
Materia orgánica	55%	45%	49%
Papel y cartón	22%	16%	18%
Plásticos	15%	8%	11%
Vidrio	9%	6%	7%
Metales	4%	2%	3%
Otros	14%	4%	6%

Tabla 2. Composición de los RSU en España [8]

Además, hay que tener en cuenta que los residuos sólidos urbanos no provienen exclusivamente de los hogares, sino también de otras actividades que se desarrollan dentro de los núcleos urbanos, como por ejemplo el sector servicios. El siguiente esquema muestra las distintas fuentes de generación de residuos en los núcleos urbanos:

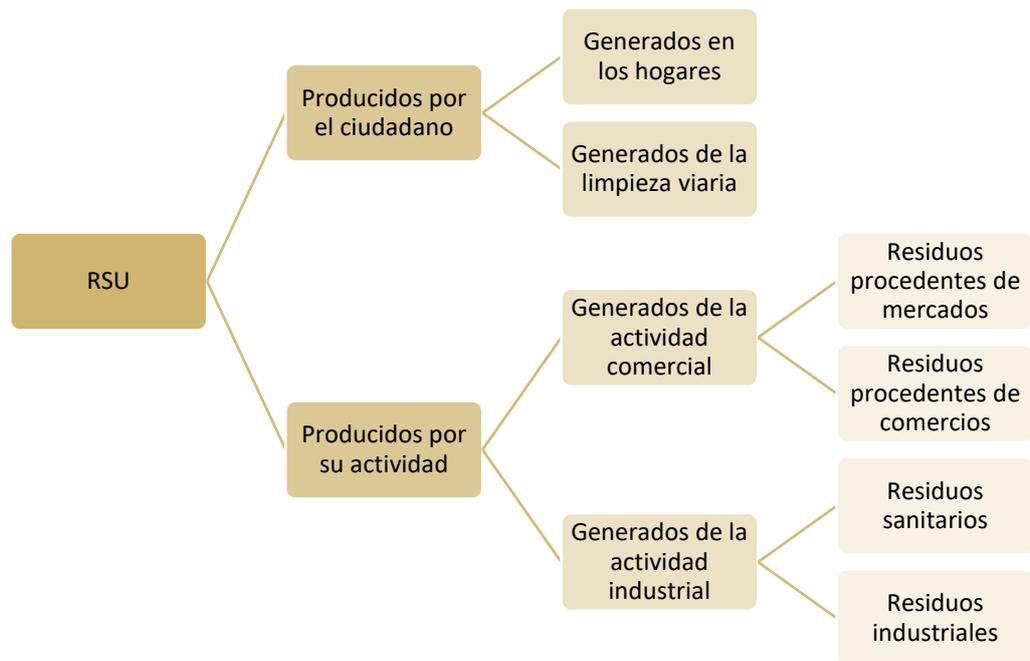


Figura 2. Fuentes de generación de los residuos sólidos urbanos [9]

A continuación, se explican más detalladamente cada una de las categorías anteriores [9]:

- Residuos generados en los hogares. Normalmente, estos residuos son en su mayor parte de tipo orgánico.
- Residuos generados de la limpieza viaria. Su gestión es especialmente complicada, ya que son de tipología muy variada. Suelen estar compuestos por restos de embalajes ligeros, papel, vidrio y plástico, así como por suciedad propia de la actividad dentro de la vía pública.
- Residuos procedentes de mercados. Suelen estar compuestos en su mayoría por restos orgánicos, papel y cartón, madera, vidrio y plásticos.
- Residuos procedentes de comercios. Suelen tratarse de materiales utilizados en el envase y el embalaje, tales como papel, cartón, vidrio, plástico y madera.
- Residuos sanitarios. Representan un porcentaje muy bajo dentro de los residuos totales generados en los núcleos urbanos, pero su gestión es especialmente complicada debido a su carácter contaminante y su alto nivel de riesgo.
- Residuos industriales. Dentro de este grupo hay que diferenciar entre los residuos inertes (madera, chatarra, cenizas, papel, vidrio, rechazos de la producción...) y los residuos asimilables a urbanos (gracias a la baja cantidad de este tipo, pueden integrarse dentro de la gestión del resto de residuos producidos en las ciudades).

La generación de los residuos sólidos urbanos experimenta grandes oscilaciones según diversos factores de influencia. Por ejemplo, en verano esta producción aumenta en las zonas de descanso y en las zonas costeras, ocurriendo lo contrario durante los periodos de invierno. También se producen variaciones entre los núcleos urbanos situados en zonas cálidas y en zonas frías: en los primeros, son más comunes los residuos orgánicos, mientras que, en los segundos, abundan los materiales inorgánicos [10].

La tabla siguiente muestra la cantidad de residuos generados tanto en los hogares como en el resto de actividades desarrolladas en los núcleos urbanos:

Sector de actividad	Cantidad máxima	Cantidad mínima	Cantidad usual
Hogares	1,02 kg/día	0,88 kg/día	0,95 kg/día
Otros	0,21 kg/día	0,13 kg/día	0,17 kg/día
Total	1,23 kg/día	1,01 kg/día	0,12 kg/día
	448 kg/año	369 kg/año	409 kg/año

*Tabla 3. Producción de RSU por habitante [10]*

En los Apartados 2.4 y 2.5 se indican porcentajes de reutilización, reciclado, valorización energética y depósito en vertedero de los residuos sólidos urbanos, tanto a nivel nacional como europeo.



---

---

### **2.3. TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

---

---

El principal objetivo, como se ha comentado anteriormente, es la disminución de la generación de residuos. Sin embargo, dado el crecimiento del consumo, este objetivo resulta difícil de cumplir. Es por ello por lo que se persigue poder reutilizar al máximo los residuos producidos, de manera que se favorezca una economía circular y un mayor aprovechamiento de las materias primas utilizadas.

Como ya se ha descrito en el Apartado 2.2, los residuos sólidos urbanos están formados por muchos tipos de residuos. Debido a esta variada tipología, se aplicarán diferentes tratamientos a los mismos [11].

---

---

#### **2.3.1. Evolución histórica del tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos**

---

---

Desde que surgió la civilización, han existido técnicas de reutilización y reciclaje destinadas a aprovechar todos aquellos recursos necesarios pero escasos.

Sin embargo, a medida que la sociedad fue avanzando y el crecimiento económico se hacía cada vez más incipiente, la generación de residuos fue creciendo, lo cual acarrea graves problemas de salubridad, sobre todo en las ciudades.

Estas medidas de higiene decayeron aún más durante la Revolución Industrial, debido sobre todo a la concentración de la población en los núcleos urbanos. No fue hasta finales del siglo XVIII cuando la sociedad fue consciente de que la acumulación de suciedad en las calles estaba directamente ligada con la proliferación de enfermedades. Esta concienciación facilitó que se adoptasen medidas para aumentar la limpieza de las calles y eliminar la basura que se iba acumulando en ellas [12].

A partir de la primera mitad del siglo XX, comenzó a aumentar la producción de otro tipo de residuos. Hasta ese momento, los desechos producidos eran en su mayor parte orgánicos, cuya eliminación no supone tanto problema al poder ser reutilizados fácilmente en actividades agrícolas. Sin embargo, el problema surgió cuando comenzó a aumentar la fracción de residuos que no podían reutilizarse directamente, tales como plásticos.

En la segunda mitad del siglo XX, y después de la Segunda Guerra Mundial, el crecimiento económico de Estados Unidos impulsó el movimiento ecologista y la concienciación por el medio ambiente, lo cual se consolidó con la celebración del Primer Día Mundial de la Tierra el 22 de abril de 1970 [13].

En cuanto a España, no fue hasta el año 1945 cuando empezaron a realizarse controles en los vertederos. Esto implica que, previamente a esta fecha, eran normales los vertidos incontrolados [14].

Ya durante los años 60 y 70 se crearon las primeras instalaciones de compostaje e incineración, y en el año 1982 llegaron los primeros contenedores de reciclaje a las principales ciudades españolas [15].

Sin embargo, hasta que nuestro país no entró en la Unión Europea en el año 1986, no se tomó una política clara de gestión de residuos.



*Figura 3. Recogida de residuos en la ciudad de Madrid antiguamente [16]*

---

---

### **2.3.2. Tratamiento de la materia orgánica**

---

---

El foco principal de generación de olores se encuentra en la materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos.

Hay **dos problemas medioambientales en España** que preocupan especialmente. Por una parte, el **déficit de materia orgánica de nuestros suelos**, lo cual contribuye directamente a la erosión

y la desertización y, por otra parte, la **elevada contaminación de las aguas dulces**, causada principalmente por el vertido de residuos tratados incorrectamente [17].

Una buena gestión de esta fracción de materia orgánica podría contribuir a solucionar estos dos problemas.

Existen principalmente dos tecnologías para el tratamiento de la materia orgánica: **biometanización o digestión anaerobia y compostaje o digestión aerobia**.

---

### **2.3.2.1. Biometanización o digestión anaerobia**

---

La biometanización se trata de un proceso biológico en el que, mediante la acción de microorganismos y en ausencia de oxígeno, la biomasa se descompone para dar lugar a un producto gaseoso, denominado **biogás**, y a un subproducto líquido, denominado **digesto** [11]. Este proceso se lleva a cabo en reactores o digestores anaerobios cerrados.

El **biogás** está formado principalmente por **metano y dióxido de carbono**, y presenta un gran interés como biocombustible: un metro cúbico de biogás se corresponde con 0,6 L de gasoil [18]. Además, su elevada capacidad calorífica permite que pueda ser utilizado en motores de combustión, calderas y turbinas [19].

Por su parte, el **digesto** está formado por compuestos inorgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que se emplea como abono en actividades agrícolas o para la fabricación de fertilizantes [20].

Esta tecnología presenta las siguientes **ventajas** [18]:

- **Control y reducción de los malos olores.**
- Obtención de energía de forma renovable.
- Mineralización parcial de la materia orgánica al obtenerse compuestos inorgánicos tales como carbono o nitrógeno.
- Mejora de la eficacia de procesos posteriores a los que se podría someter la materia orgánica tras la biometanización.

Sin embargo, también presenta los siguientes **inconvenientes** [18]:

- Se requieren inversiones elevadas.
- Se trata de un procedimiento lento.

- Precisa de supervisión técnica periódica.
- No consigue eliminar el nitrógeno.



*Figura 4. Instalaciones de Digestión Anaerobia en Planta Ecoparc del Besos, S.A. [21]*

### **Etapas de la digestión anaerobia**

- Antes de proceder a la descomposición de la materia orgánica en el reactor anaerobio, es necesario hacer un **pretratamiento** para eliminar las impurezas de los residuos. También se enriquecerá esta materia orgánica y se homogeneizará con agua para facilitar su fermentación en el reactor [22].
- Una vez la materia orgánica ha sido preparada y enriquecida, pasa al digester anaerobio, donde se produce la fermentación anaerobia durante un **periodo de tiempo entre 15 y 21 días**. Esta fermentación puede ocurrir en **régimen mesofílico** (si los microorganismos se desarrollan a una temperatura de 35°C) o en **régimen termofílico** (si los microorganismos se desarrollan a una temperatura de 55°C) [18].

El proceso seguido en el reactor anaerobio presenta **tres fases**:

- **Fase de hidrólisis**

Consiste en romper las cadenas de las moléculas para obtener compuestos más sencillos solubles, tales como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, etc., que puedan tratarse posteriormente y sean susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para los microorganismos que actuarán más adelante. Esta rotura se produce gracias a la acción de enzimas excretadas por bacterias fermentativas [23] [22].

Esta etapa, a su vez, puede dividirse en otras tres fases [24]:

- Hidrólisis de las proteínas en aminoácidos simples.
- Hidrólisis de los carbohidratos en azúcares simples.
- Hidrólisis de las grasas y aceites en glicerina y ácidos grasos.

○ **Fase de acidogénesis y acetogénesis**

Las moléculas generadas en la hidrólisis son atacadas por microorganismos, que las convierten en ácidos orgánicos simples [22] [23] [24] [25].

○ **Fase de metanogénesis**

Las bacterias metanogénicas actúan sobre los productos orgánicos simples obtenidos en la fase anterior y se obtienen productos como metano y dióxido de carbono, principales componentes del biogás [23] [24].

- Tras finalizar el proceso en el digestor, se tratan los **productos obtenidos**.
  - Por una parte, se obtiene el **digesto**, el cual se somete a un proceso de deshidratación e higienización mediante centrifugación o filtración. Con ello, **se obtienen tres tipos de fracciones**:
    - La fracción sólida que puede ir directamente a compostaje.
    - Sólido de prensa, que no puede ir directamente a compostaje y que se destina a compostaje externo.
    - Una fracción líquida, parte de la cual se recircula para homogeneizar una nueva mezcla que entre al digestor, mientras que otra parte es tratado en una EDAR <sup>1</sup> dada su elevada carga en nitrógeno y fósforo [23] [26].

---

<sup>1</sup> Estación Depuradora de Aguas Residuales

- Por otra parte, se obtiene el **biogás**, que tiene un elevado interés energético. Este biogás se somete a un proceso de desulfuración previo a ser utilizado en un proceso de cogeneración con el que se obtiene energía eléctrica.

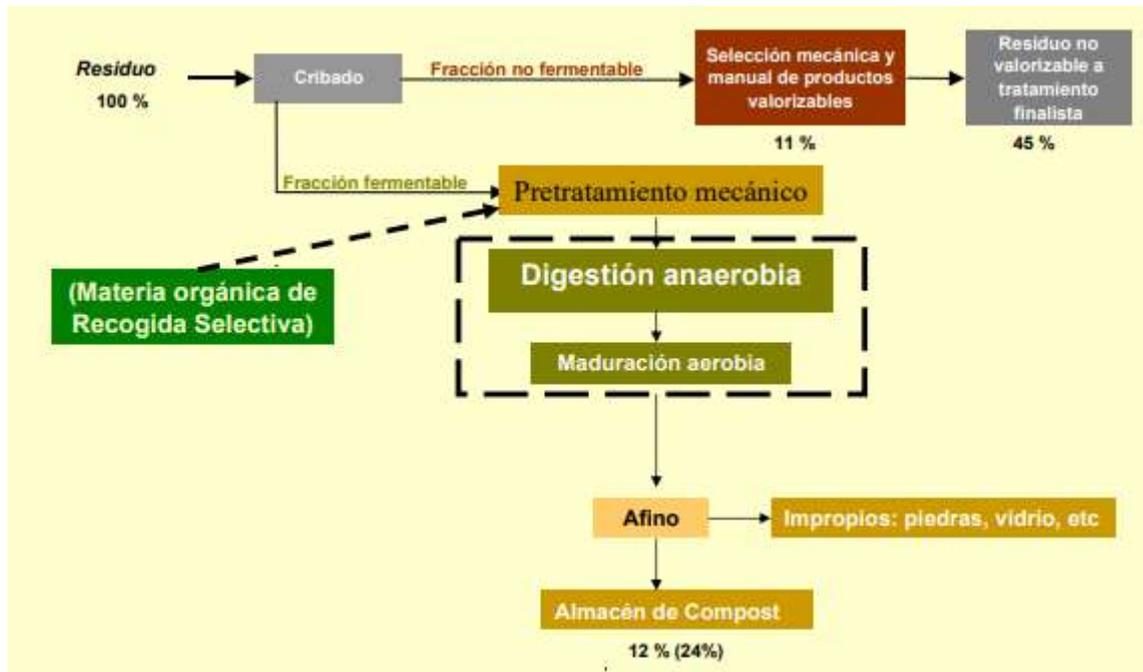


Figura 5. Diferentes etapas en el proceso de biometanización [25]

Haciendo referencia a la generación de malos olores, es importante destacar que los principales focos se encuentran en el pretratamiento de la materia orgánica antes de su entrada al reactor y en los productos resultantes del proceso. **En contra de lo que se pueda pensar inicialmente, el reactor anaerobio no constituye un foco de malos olores.**

### Condicionantes

La eficiencia de la digestión está directamente ligada a la temperatura del reactor, que deberá ser constante, ya que de ello dependerá el desarrollo de los microorganismos que llevan a cabo esta digestión.

Además, es importante que, durante todo el tiempo que dure el proceso, hay que evitar la sedimentación en el reactor, por lo que es necesario mover constantemente la materia orgánica [27].

Otros factores a tener en cuenta en el proceso son el pH y la alcalinidad del medio, la presencia de sustancias tóxicas o el nivel de carga introducido en el reactor.

### Tecnologías empleadas en la biometanización

Se dividen básicamente en dos grupos: **digestión anaerobia por vía húmeda** y **digestión anaerobia por vía seca**. En la primera, se prepara una suspensión añadiendo agua previamente a la digestión, mientras que, en la segunda, el movimiento del residuo dentro del digestor se realiza por acción mecánica o mediante la recirculación del biogás [19]:

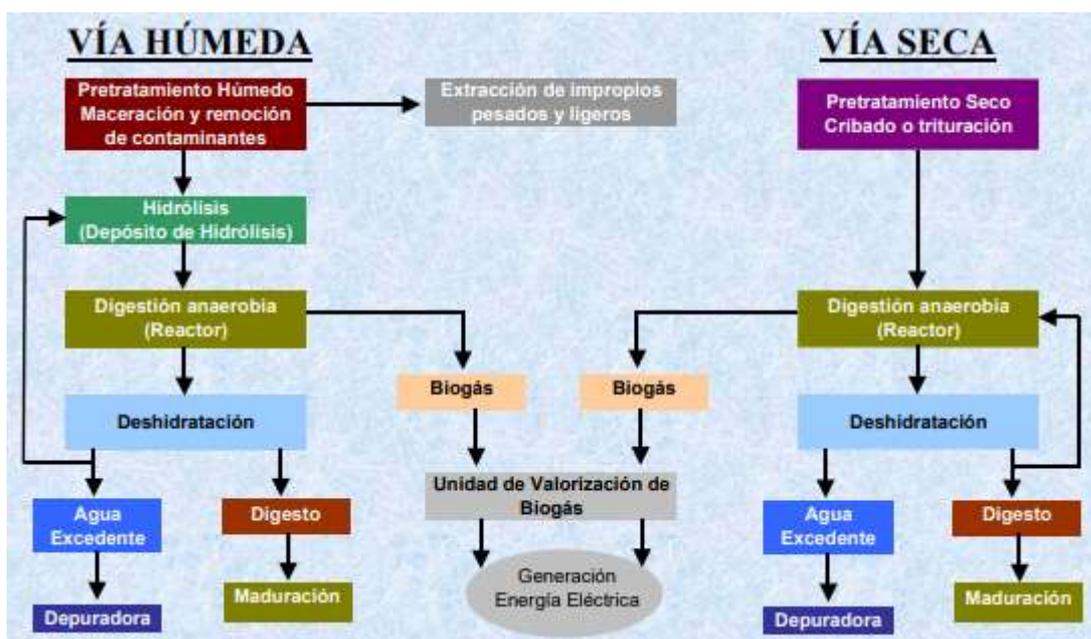


Figura 6. Diferencias entre la digestión anaerobia vía húmeda y vía seca [25]

En la digestión por vía húmeda, se obtiene mayor cantidad de biogás en menos tiempo, aunque cabe destacar que, **a medio plazo, ambas tecnologías producen el mismo volumen de biogás.**

Por su parte, la principal limitación de la digestión húmeda es la acumulación de sustancias como ácidos grasos o amoníaco, lo cual puede solucionarse añadiendo agua al proceso.

Desde el punto de vista económico, ambas tecnologías resultan equiparables. Los equipos requeridos en vía seca han de ser más robustos, pero el pretratamiento es mucho más sencillo, con lo que se alcanza un equilibrio.

Por último, el análisis medioambiental refleja que la tecnología húmeda requiere un consumo de agua mucho mayor que la tecnología seca, lo que provoca también que se genere un mayor volumen de aguas residuales [22].

---

## Sistemas de biometanización

---

Se pueden distinguir **tres tipos de sistemas en la biometanización**: de una etapa, de dos etapas y sistemas discontinuos o por lotes [22].

- **Sistemas de una etapa**

La mayoría de los sistemas actuales consisten en una etapa. En estos sistemas, las tres etapas de la digestión anaerobia ocurren juntas.

- **Sistemas de dos etapas**

En estos sistemas se produce la separación de las fases de hidrólisis y acidogénesis de la fase de metanogénesis, ya que las etapas no tienen por qué desarrollarse de manera óptima en las mismas condiciones.

Sin embargo, estos sistemas no ven incrementada la eficiencia de forma rentable respecto a los sistemas de una etapa, por lo que no se compensa el incremento de costes y complejidad.

- **Sistemas discontinuos o por lotes**

En este tipo de sistemas, el lixiviado obtenido en la digestión se recircula constantemente, de manera que se garantiza en todo momento un buen nivel de humedad y de nutrientes.

A pesar de no estar extendidos a día de hoy, presentan características que les hacen muy interesantes, tales como la sencillez en el diseño, el elevado control sobre el proceso o su bajo coste de inversión.

---

### 2.3.2.2. Compostaje o digestión aerobia

---

El otro método de tratamiento de la materia orgánica presente en los residuos es el **compostaje o la digestión aerobia**, que se basa en la descomposición de la materia orgánica gracias a la acción de microorganismos como hongos y bacterias en presencia de oxígeno. Tras este proceso, la materia orgánica se convierte en compost, que posteriormente podrá utilizarse como fertilizante [19].

Al igual que ocurría en la biometanización, es necesario preparar la materia orgánica que va a someterse al proceso de compostaje, reduciendo al máximo la presencia de compuestos inertes,

tales como metales, así como asegurar una humedad y porosidad adecuadas que faciliten el proceso de descomposición. La calidad del compost obtenido dependerá de la riqueza en compuestos orgánicos presente en los residuos sólidos urbanos sometidos al tratamiento, de ahí la importancia de realizar una buena separación de los residuos.

---

### **Etapas de la digestión aerobia**

---

El proceso de compostaje tiene duración de entre 10 y 16 semanas, y transcurre a lo largo de dos fases [19]:

- **Fase de descomposición**

Se eliminan aquellas moléculas más simples, produciendo agua, anhídrido carbónico, amoníaco y energía. Durante esta fase, que tiene una **duración de entre 2 y 4 semanas**, se llegan a alcanzar temperaturas de entre 60°C y 70°C.

- **Fase de maduración**

La materia orgánica se estabiliza y madura durante un **periodo de 6 a 10 semanas**, y finalmente se obtiene el compost.

---

### **Condicionantes**

---

Durante todo el proceso de fermentación, es importante controlar **dos parámetros fundamentales**: la aireación y la humedad.

La **aireación** impide la proliferación descontrolada de microorganismos anaerobios que interrumpirían el proceso. Esta aireación se consigue volteando periódicamente la materia orgánica fermentable o mediante inyecciones de aire.

Por su parte, la **humedad** permite trabajar de manera óptima a los microorganismos encargados de la descomposición. Este parámetro es crítico debido a las elevadas pérdidas de agua que se producen en la fase de descomposición por las altas temperaturas alcanzadas [23].

---

### **Sistemas de compostaje**

---

Hay varios sistemas destinados a optimizar el proceso de compostaje en el menor tiempo posible y alcanzando una calidad adecuada del compost. Además, se intenta reducir al máximo el impacto

causado por los olores provocados. Así, se distingue entre los siguientes sistemas de compostaje [23]:

- **Compostaje en pila estática**

Se trata del sistema más antiguo, basado en la ventilación natural y el almacenaje de la masa fermentable en pilas. Dado que la ventilación es natural, el volumen de olores generado es elevado.

- **Compostaje por volteo**

La aireación se consigue volteando de forma mecánica la materia orgánica. En este caso, dado que la ventilación es también natural, la generación de malos olores es también considerable.

- **Compostaje por ventilación forzada**

La materia orgánica se mantiene quieta, mientras que su aireación se consigue a través de una tubería. Esta aireación puede producirse ya sea por inyección de aire o por succión. En este caso **los malos olores se ven reducidos** debido a la acción de la ventilación forzada.

- **Compostaje en celdas**

La materia orgánica se coloca en celdas que están sometidas a aireación y en las que existe un sistema de recogida de lixiviados<sup>2</sup>.

- **Bioestabilizador Dano**

Los residuos entran periódicamente en un cilindro giratorio en el que se controlan los parámetros del compostaje. El tiempo de permanencia en este cilindro oscila entre dos y tres días. El hecho de que el compostaje se produzca en un cilindro cerrado **reduce considerablemente la generación de malos olores**.

- **Fermentadores verticales**

---

<sup>2</sup> Los lixiviados son líquidos residuales generalmente tóxicos que surgen de los residuos sólidos.

La materia orgánica se introduce en cilindros verticales con varios pisos separados por secciones perforadas. Esta materia orgánica se va volteando y va pasando de un piso a otro hasta llegar al piso inferior.

- **Compostaje en túnel**

La fase de descomposición del compostaje se realiza en el interior de un túnel cerrado, mientras que la fase de maduración se realiza en otro túnel o en el exterior del anterior. Este sistema es **especialmente interesante para la reducción de olores**, ya que permite filtrarlos y, además, requiere una menor superficie para realizar el proceso. Sin embargo, se trata de un sistema de elevado coste económico y de mantenimiento.

Una vez el proceso de compostaje ha finalizado, es necesario someter el compost obtenido a un proceso de depuración debido a su alto contenido en sustancias inertes.

---

---

### **2.3.3. Tratamiento de otras fracciones**

---

---

#### **2.3.3.1. Tratamiento del plástico**

---

La fracción de plásticos presente en los residuos sólidos urbanos resulta también muy elevada. Es por ello por lo que el tratamiento de esta fracción es también muy importante.

Existen tres tipos de procedimientos a los que someter los plásticos: **reciclado mecánico, reciclado químico y valorización energética.**

---

#### **Reciclado mecánico de los plásticos**

---

El objetivo principal de este método es convertir los residuos plásticos en materia prima que pueda utilizarse de nuevo. Para ello, primero se trocean y, posteriormente, se someten a un proceso de extrusión que los moldea para convertirlos en nuevos productos [11].

Los plásticos a los que se les puede aplicar este método son aquellos que se funden con la acción de la temperatura. Además, después de este proceso, pierden gran parte de sus propiedades, por lo que los nuevos productos serán más limitados.

---

### **Reciclado químico de los plásticos**

---

Cuando los plásticos a recuperar están en malas condiciones o están más integrados con el resto de los residuos, se aplica el reciclado químico, el cual pretende recuperar parte de la materia prima de estos plásticos [11].

Según el tipo de polímero, se tendrán dos procedimientos diferentes [11]:

- **Polímeros de adición**
  - Vía térmica: pirólisis, gasificación, cracking.
  - Vía catalítica: hidrogenación, hidrocracking, cracking.
- **Polímeros de condensación**
  - Hidrólisis, metanólisis, glicólisis, otros.

---

### **Valorización energética de los plásticos**

---

Este proceso permite generar energía con la combustión de aquellos plásticos que se encuentran en muy malas condiciones para ser reciclados [11].

---

#### **2.3.3.2. Tratamiento del vidrio**

---

El vidrio presenta una ventaja muy favorable respecto a otras fracciones, y es que puede reciclarse sin perder sus propiedades.

Una vez ha sido recogido, se tritura hasta convertirse en polvo, y luego se introduce en un horno a alta temperatura en el que se funde para ser nuevamente moldeado y reutilizado [11].

---

#### **2.3.3.3. Tratamiento del papel y cartón**

---

El objetivo de este tratamiento es recuperar las fibras de celulosa que constituyen estos materiales. Para ello, primero es necesario eliminar la tinta que impregna el papel y cartón. Una vez retirada, se someten las fibras de celulosa a un proceso de prensado del que surge el papel reciclado [11].

---

#### **2.3.3.4. Tratamiento de los metales**

---

En estos residuos se debe distinguir entre dos tipos de materiales: acero estañado u hojalata y aluminio.

En el caso del primero, su reciclaje es útil para su posterior uso en fundiciones siderúrgicas.

El segundo, mantiene sus propiedades incluso después de fundirse en repetidas ocasiones, lo cual supone una ventaja muy significativa, como ocurre en el caso del vidrio. Además, este aluminio se utiliza como materia prima en mercados internacionales.

Para separar estos materiales del resto de los residuos, en las plantas de tratamiento de residuos se instalan mecanismos de inducción por corrientes de Foucault combinados con electroimanes [11].

---

---

### 2.3.4. Incineración

---

---

Se trata de una combustión en la que se alcanzan altas temperaturas. Es considerado un proceso de valorización energética porque estas altas temperaturas pueden utilizarse para otros fines.

A continuación, se exponen las **características** de los sistemas de incineración [28]:

- Las temperaturas alcanzadas suelen estar comprendidas entre los 900°C y los 1200°C.
- Para que se produzca una combustión completa, es necesario un exceso de oxígeno durante el proceso.
- Los **productos resultantes** del proceso de incineración son:
  - Gases de combustión: normalmente CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> que no haya reaccionado, N<sub>2</sub> procedente del aire utilizado para el proceso y otros componentes procedentes de los elementos que conformaban los residuos.
  - Otros componentes que, aunque en menor medida, pueden resultar muy perjudiciales, ya que pueden generarse gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos (como dioxinas y furanos) que no se hayan oxidado. **Estos componentes van a ser muy susceptibles de generación de olores**, por lo que habrá que prestarles especial atención.
  - Residuos sólidos: escorias, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión.
  - Energía térmica, que convierte la incineración en un proceso de valorización energética.

Existen **dos tipos de incineración** [29]:

- **Incineración térmica.**

- **Incineración catalítica.**

---

#### 2.3.4.1. Incineración térmica

---

Se alcanzan temperaturas de entre 800 y 900°C. Estos sistemas presentan cámara de combustión y postcombustión, y tiempos de residencia de entre 1 y 2 segundos.

Su aplicación en desodorización es limitada debido a su alto coste energético.

Existen a su vez **dos tipos de incineración térmica** [30]:

- **Incineración térmica de recuperación.** Se basa en recuperar el calor de los gases que salen de la cámara de combustión a altas temperaturas y utilizarlo para calentar las emisiones COV que entran en esta cámara. Se logra recuperar entre el 60 y el 80% de la energía térmica generada.
- **Incineración térmica regenerativa.** Se basa en el uso de materiales que absorben el calor en el proceso de incineración. Este calor absorbido se utiliza para calentar el gas que entra en la cámara de incineración y que provoca la combustión. De esta manera, se alcanzan eficiencias muy elevadas, en torno al 90%.

---

#### 2.3.4.2. Incineración catalítica

---

Este tipo de sistemas, utilizan catalizadores para la oxidación de los gases, los cuales permiten que no sea necesario alcanzar temperaturas tan elevadas como en el caso de la incineración térmica, rondándose entre los 200 y 400°C. Gracias a ello, **no se generan contaminantes secundarios** peligrosos como el NO<sub>x</sub> o el CO [29].

Al igual que en la incineración térmica, en la catalítica también se pueden utilizar tecnologías de recuperación y de regeneración.

---

#### 2.3.4.3. Comparación entre incineración catalítica y térmica

---

INCINERACIÓN TÉRMICA	INCINERACIÓN CATALÍTICA
Mayor consumo de energía	Ahorro de energía gracias a las temperaturas de funcionamiento inferiores
Más emisiones de CO <sub>2</sub>	Reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub>

Generación de contaminantes secundarios, como NO <sub>x</sub> y CO debido a las altas temperaturas de funcionamiento	No se generan contaminantes secundarios como el NO <sub>x</sub> y el CO
Requiere instalaciones más grandes	Instalaciones de menor tamaño
Tiempo de arranque más elevado al tener que alcanzarse temperaturas más altas	Menor tiempo de arranque
No presenta riesgo de envenenamiento por catalizadores	Mayor vida útil
	Presenta riesgo de envenenamiento por los catalizadores utilizados

Tabla 4. Comparativa entre Incineración Térmica e Incineración Catalítica [29]

### 2.3.5. Depósito en vertedero

Se presenta como la opción menos favorable para la eliminación de residuos por los numerosos efectos negativos que tiene para el medio ambiente y las personas, así como porque requieren una gran cantidad de espacio para su establecimiento.

A pesar de ello, se trata a día de hoy de la técnica más extendida, siendo el 38,8% de los residuos los que son eliminados de esta manera en la Unión Europea, como puede verse en la Figura 7.

Es por eso que su uso tiene que reducirse en gran medida para conseguir el objetivo europeo para el año 2030: eliminación del 95% de los vertederos, destinando el 5% restante a aquellos residuos no revalorizables.

Teniendo en cuenta los graves problemas que puede acarrear el uso de vertederos, es de vital importancia diseñar y construir estas instalaciones (que podrán establecerse tanto al aire libre como en espacios subterráneos) de manera que se asegure en todo momento la minimización de sus repercusiones negativas.

Entre los efectos negativos que pueden darse, están los siguientes [31]:

- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas por la generación de lixiviados.
- Deslizamiento de terrenos e incluso fenómenos sísmicos.
- **Generación de malos olores.**
- Arrastre de residuos a través de los lixiviados producidos.

Una vez haya acabado la vida útil del vertedero en cuestión (que dependerá en cada caso), se procederá a su sellado y a su control y vigilancia durante 30 años, lo que conllevará la correcta gestión de los contaminantes que se sigan produciendo, tales como biogás y lixiviados, para asegurar que no resulta dañino para el entorno.

Existen normas específicas que regulan la construcción, explotación y la vigilancia acabada la vida útil de los vertederos, como es el caso del Real Decreto 646/2020, que regula este tipo de técnica para la eliminación de residuos.

---

## 2.4. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS A NIVEL EUROPEO

---

La gestión de los residuos en la Unión Europea es especialmente compleja, ya que la estrategia seguida pretende proteger el medio ambiente sin perjudicar la economía y el mercado comunitarios. Además, hay que añadir la dificultad que supone las diferencias entre los diferentes países miembros.

Es por ello por lo que la Estrategia General Comunitaria sobre residuos, establecida en el año 1996, establece **cuatro principios de gestión** que pretenden que el crecimiento económico no esté reñido con el respeto al medio ambiente [32] [33]:

1. Principio de prevención: la generación de residuos debe reducirse al máximo y, siempre que sea posible, debe eliminarse.
2. Principio de responsabilidad: las personas, organismos o empresas que generan los residuos tienen que asumir los costes derivados del tratamiento y eliminación de estos residuos, así como del daño provocado en el medio ambiente.
3. Principio de precaución: se tienen que haber contemplado los peligros y problemas derivados de la generación de residuos antes de su producción.
4. Principio de proximidad: los residuos deben de ser eliminados lo más cerca posible al punto de generación.

Actualmente, en la Unión Europea, los residuos generados en los hogares representan en torno al 10% del total. Además, existe una gran diferencia entre los diferentes estados miembros en relación a la gestión y el tratamiento de residuos. Por ejemplo, en Alemania el porcentaje de reciclaje y compostaje se sitúa en el 64%, mientras que, en países como Malta o Eslovaquia, este porcentaje desciende hasta el 12% [34].

Sin embargo, desgraciadamente la técnica más común de tratamiento de residuos sigue siendo el **depósito controlado en vertedero** (casi un tercio de los residuos termina en vertederos), debido, sobre todo, a que resulta la solución menos costosa. Esto genera numerosos problemas medioambientales, como la contaminación por lixiviados, la alta ocupación de espacio o la inutilidad de los terrenos que han sido utilizados con estos fines. Es por ello que se imponen estrictas normas para la protección de la salud humana y del medio ambiente. Según la directiva aprobada en 1999 por la Comisión Europea [32]:

- Los países miembros están obligados a reducir la cantidad de residuos que van a parar a vertederos.
- Se debe reducir el volumen y la toxicidad de los residuos depositados en vertedero.
- Aquellos residuos destinados a vertedero deben ser previamente tratados, con el objetivo de disminuir su impacto ambiental.
- Se impulsa la creación de vertederos destinados a aquellos residuos que requieren un tratamiento especializado, como pueden ser los residuos peligrosos.
- Todos los vertederos están regidos por una serie de normas comunes básicas de diseño y funcionamiento.

El dato positivo es que el porcentaje de residuos depositados en vertedero en Europa ha ido disminuyendo a lo largo de los años: durante el año 2012, estos residuos representaban el 34% de los residuos totales generados, mientras que, en el año siguiente, este porcentaje disminuyó hasta el 33% [35].

Otra técnica de eliminación de residuos utilizada en Europa es la **incineración**. Esta técnica fue propuesta en 1998 y finalmente fue aprobada en el año 1999 [32]. Durante los últimos años ha aumentado su uso, pasando de un 21% de residuos incinerados en 2007 a un 26% en el año 2013, ya que permite recuperar la energía del residuo, así como tratar varios tipos de desechos. Sin embargo, también conlleva graves problemas medioambientales, como la emisión de gases y cenizas tóxicos [35]. Por ello, se establecen normas muy estrictas para los gases emitidos, así como se fijan valores límite para la emisión de dioxinas y furanos<sup>3</sup>.

Más métodos de gestión de residuos son el **compostaje o la biometanización**, que permiten la valorización de los residuos y que con el paso de los años van ganando terreno a las técnicas descritas anteriormente.

Desgraciadamente, el porcentaje de residuos tratados a través de técnicas de valorización sigue siendo muy bajo, por lo que la Unión Europea aún se encuentra muy lejos de cumplir sus objetivos de reducir al máximo la utilización de técnicas para eliminación de residuos dañinas con el medio ambiente. En el año 2016, solo el 53,2% de los residuos tratados de la Unión Europea

---

<sup>3</sup> Familia de productos químicos complejos que resultan tóxicos a niveles muy bajos. Son compuestos sólidos y cristalinos, insolubles en agua, pero fácilmente solubles en disolventes orgánicos, grasas y aceites.

experimentaron operaciones de valorización. El 46,8% restante se depositaron en vertederos, fueron incinerados sin valorización o se eliminaron de otro modo [36]:

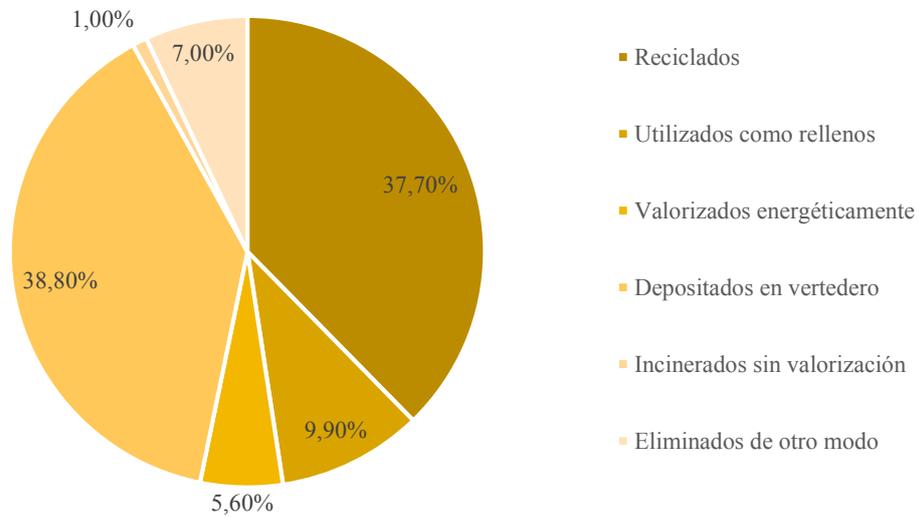


Figura 7. Tratamiento de residuos en la Unión Europea [36]

La Unión Europea establece como objetivo para el año 2025 reciclar [37]:

- El 70% de metales ferrosos y vidrio.
- EL 65% de los envases.
- El 75% del papel y cartón.
- El 50% de residuos plásticos y aluminio.
- El 25% de madera.
- **El 55% en los residuos sólidos urbanos.**

E incluso, para el 2030 estos objetivos se vuelven aún más exigentes, situándose las tasas de reciclaje en [37]:

- El 80% para metales ferrosos.
- El 75% para el vidrio.
- El 70% para envases.
- El 80% para papel y cartón.
- El 55% para residuos plásticos.
- El 60% para el aluminio.
- El 30% para madera.

- **El 60% en los residuos sólidos urbanos.**

La gestión de los residuos está estrechamente ligada con la gestión de los olores que estos emiten, causantes de una importante contaminación ambiental. Los residuos más susceptibles a la producción de olores son los residuos sólidos urbanos, por contener materia orgánica susceptible a descomposición.

---

---

#### 2.4.1. Normativa europea de gestión de residuos

---

---

En la actualidad, la gestión de residuos a nivel europeo viene determinada principalmente por [37] [38]:

- **La Directiva de Residuos 2008/98/CE**, que establece el marco legislativo general. En ella se establecen los 4 principios de gestión definidos al comienzo del *Apartado 2.4* (principios de prevención, responsabilidad, precaución y proximidad), así como fijaban objetivos legalmente vinculantes para el año 2020 para todos los estados miembros, como alcanzar un porcentaje del 50% en el reciclado y valorización de los residuos domésticos y del 70% para los residuos procedentes de la construcción. Esta normativa entró en vigor el 12 de diciembre de 2010.
- **La Directiva modificativa 2018/851**, que modifica la directiva anterior, reforzando las normas sobre prevención de residuos, así como estableciendo nuevos objetivos de reciclaje de los residuos municipales para el año 2025, los cuales se han indicado en el *Apartado 2.4*. Además, también establece la obligación de todos los países miembro de implementar la recogida selectiva de residuos textiles y peligrosos el año 2025 como tarde, así como la recogida selectiva de biorresiduos para el año 2023. Esta normativa modificada entró en vigor el 5 de julio del año 2020.

Existen también otra serie de directivas más específicas, como son [37]:

- **Directiva sobre vertido de residuos no tratados**, de 1999, cuyo objetivo es limitar la cantidad de residuos destinados a vertedero al máximo. De esta manera, entre las medidas que establece, prohíbe el vertido de todos aquellos residuos que puedan ser revalorizados o reciclados para el año 2030 o limita a un 10% la cesión de terrenos municipales para la formación de vertederos para el año 2035.
- **Directiva sobre envases**, de 1994, por la cual se debe fomentar la producción de envases reutilizables, así como se establece que para finales del año 2025 debe reciclarse el 65% en peso de todos los envases, y para finales del 2030, este porcentaje debe aumentar hasta un 70%.

---

---

## 2.4.2. Normativa europea sobre olores

---

---

Lo cierto es que no existe una normativa específica a nivel europeo en relación a la contaminación odorífera en forma de reglamento, directiva u otra decisión que sea de obligado cumplimiento. Lo que sí existe son normativas nacionales específicas en algunos países concretos. Tal es el caso de la **normativa alemana VDI/DIN3940**, la principal en materia de dispersión y control de olores, la cual se está empleando en la elaboración de un método conjunto a nivel europeo para evaluar este tipo de contaminación [39].

Así, esta normativa establece dos métodos para el control de la dispersión de olores [40]:

- Método de la Pluma Belga, que consiste en determinar la distancia máxima a la que consigue llegar el olor desde su foco de generación
- Método de la malla, que consiste en establecer una malla con diferentes puntos e ir analizando los olores en cada uno de estos puntos.

Gracias a estos métodos, se pueden obtener resultados del grado de contaminación del aire en los puntos que interese, como pueden ser los núcleos de población. Sin embargo, no son suficientes para determinar el foco de mal olor.



---

## 2.5. GESTIÓN DE RESIDUOS A NIVEL NACIONAL

---

La gestión de residuos en España viene enmarcada por la misma jerarquía establecida a nivel europeo:



*Figura 8. Jerarquía en el tratamiento de residuos en la Unión Europea y España [98]*

En España existen por una parte diferentes sistemas de recogida de residuos, según se recojan en la puerta de los domicilios (como es el caso de Madrid, donde se establece una recogida puerta a puerta en cada domicilio), se depositen en puntos limpios o los ciudadanos depositen sus residuos en contenedores situados en diferentes puntos de la vía pública.

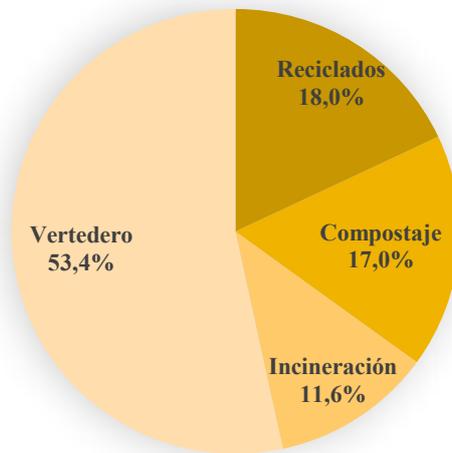
De la misma manera, se establece una recogida selectiva según el tipo de residuo, diferenciándose entre vidrio, papel-cartón, envases, fracción resto y fracción orgánica. En el caso de Madrid, se diferencia entre la fracción resto y la orgánica, pero esto no ocurre en todos los municipios, lo cual refleja las grandes diferencias que existen entre los núcleos de población españoles. A esta clasificación también hay que añadir otro tipo de residuos, como pueden ser los peligrosos, los textiles, los voluminosos, las tierras y los escombros y los RAEE<sup>4</sup>, los cuales presentarán una recogida especial, no objeto de este Trabajo.

Según datos del año 2018 recopilados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) y el Instituto Nacional de Estadística (INE), del total de residuos

---

<sup>4</sup> RAEE: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

generados en España, el 18% son reciclados, el 17% se destinan a compostaje, el 11,6% se incineran y el 53,4% se depositan en vertederos [41]:



*Figura 9. Técnicas de gestión de residuos en España. Año 2018 [41]*

Además, existe una gran diferencia entre las diferentes comunidades autónomas, lo cual se representa en la siguiente gráfica:

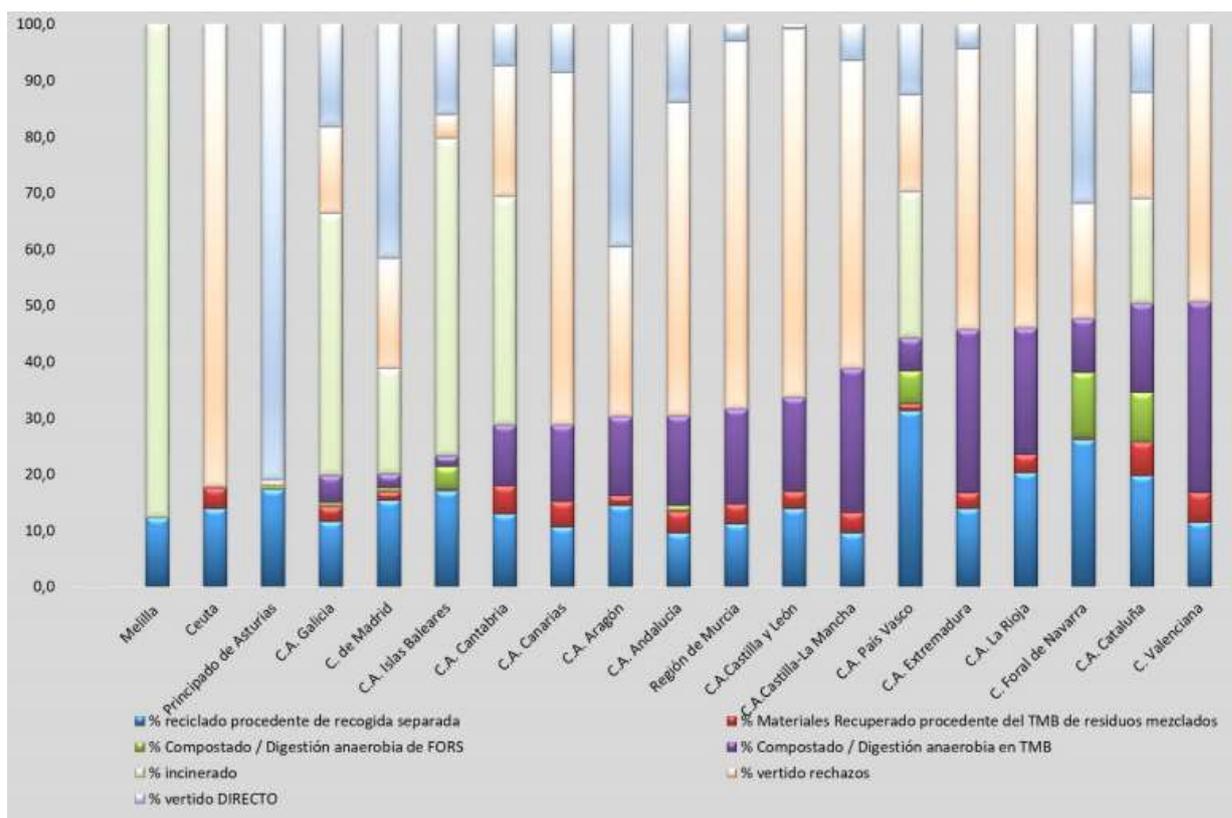


Figura 10. Gestión de residuos según la Comunidad Autónoma<sup>5</sup>. Año 2018 [41]

En relación a la Comunidad Autónoma de Madrid, no se encuentra entre las peores comunidades en materia de gestión de residuos, como es el caso de Ceuta, Melilla o Asturias, que presentan un porcentaje mayoritario de vertido, pero aún no alcanza los niveles deseados: el porcentaje de vertido sigue siendo demasiado elevado, representado más de la mitad del total, seguido de la incineración, el reciclado, el compostaje y, por último, de tratamientos de recuperación mecánicos-biológicos (TMB).

Además, Madrid es la segunda comunidad autónoma que mayor volumen de residuos genera, solo por detrás de Cataluña, debido sobre todo a la alta densidad de población.

Estos porcentajes muestran cómo **España se encuentra muy por detrás de la media europea en materia de gestión de residuos**: mientras la media europea de depósito en vertedero se sitúa en el 38,8%, en España este porcentaje asciende hasta el 53,4%; lo mismo pasa con el reciclado, cuando la media europea se sitúa en el 37,7% mientras que en España desciende al 18%.

<sup>5</sup> TMB: Tratamientos mecánico-biológicos.

---

---

### 2.5.1. Normativa nacional de gestión de residuos

---

---

Hay un amplio marco legal que contempla la legislación de la gestión de residuos en nuestro país. Además, existen normativas para cada tipo de residuo.

A continuación, se indica las principales normativas [42]:

- **Ley 22/2011**, que regula la gestión de residuos a través de la limitación de su generación y la reducción de los impactos negativos que puedan tener en el medio ambiente, el entorno y las personas.
- **Real Decreto 952/1997**, por el que se modifica la Ley 20/1986 para la actualización de la regulación en la producción y la gestión de residuos peligrosos, con el máximo de proteger la salud humana y el medio ambiente.
- **Real Decreto 646/2020**, que regula el depósito controlado de residuos en vertederos.

---

---

### 2.5.2. Normativa nacional sobre olores

---

---

El aumento de generación de residuos lleva consigo el aumento de emisiones de olores contaminantes, lo que hace muy necesario la existencia de una legislación clara al respecto.

Sin embargo, a nivel nacional, al igual que a nivel europeo, tampoco existe una legislación concreta que regule las emisiones de olor, si bien es cierto que hay una serie de normas que legislan las autorizaciones ambientales que regulan las actividades que puedan generar malos olores:

- **Norma UNE-EN 13725:2004**, que permite determinar la concentración de malos olores en el ambiente con diferentes metodologías. El problema viene dado por la alta sensibilidad de las personas en la detección de malos olores; esta alta sensibilidad dificulta la detección de contaminantes odoríferos en el ambiente a través de otras técnicas. Esta norma define también las unidades de olor ( $uo_E$ ) como “*cantidad de sustancia o mezcla de sustancias que se puede oler en 1 m<sup>3</sup> de gas oloroso, en condiciones normales, en el umbral del panel de percepción*”.
- Límites de emisión de olores sujetas a **Declaración de Impacto Ambiental (DIA)** o a **Autorización Ambiental Integrada (AAI)**:
  - La Autorización Ambiental Integrada, incluida dentro del Real Decreto Legislativo 1/2016, contempla todos los aspectos ambientales de instalaciones industriales. Fija los valores límite para las emisiones que se corresponden con

las llamadas Mejores Técnicas Disponibles (MTD) contempladas en un proyecto industrial determinado [43].

- La Declaración de Impacto Ambiental determina si la actividad en cuestión puede llevarse a cabo porque cumpla con todos los requisitos medioambientales mínimos.
- **Real Decreto Legislativo 1/2016** y **Directiva 2010/75/UE**, que establece una serie de límites ambientales (VLA) para instalaciones industriales y regula las emisiones industriales, respectivamente.
- La **Ley 22/2011** en el artículo 78 hace referencia a la generación de malos olores, pero no establece tampoco umbrales o condicionantes más concretos.

Dado que la normativa anterior no fija valores límite de emisión, se recurre a los valores límite ambientales de gases tóxicos, ya que mucho de estos gases son causantes de malos olores. En la siguiente tabla se muestran dichos valores, referidos tanto para la exposición diaria como para la exposición de corta duración [44]:

	<b>Exposición diaria [ppm]</b>	<b>Exposición de corta duración [ppm]</b>
CO	25	100
CO <sub>2</sub>	5.000	12.500
SO <sub>2</sub>	0,5	1
H <sub>2</sub> S	5	10
NO	25	30
NO <sub>2</sub>	3	5

*Tabla 5. Valores límite ambientales de exposición a gases tóxicos [44]*



## 2.6. PROBLEMÁTICA DE OLORES

### 2.6.1. Características y tipos de olores

Numerosas sustancias son responsables de la contaminación odorífera. El grado de concentración de estas sustancias es lo que determina su repercusión tanto para el medio ambiente como para la población.

La siguiente tabla muestra las principales sustancias causantes de olores, acompañadas de su fórmula molecular y el mal olor que las caracteriza [45]:

SUSTANCIA	FÓRMULA MOLECULAR	OLOR CARACTERÍSTICO
Acetaldehído	$\text{CH}_3 \text{CH O}$	Penetrante, frutal
Alil mercaptano	$\text{CH}_2 \text{CH CH}_2 \text{SH}$	Ajo fuerte, café
Amoniac	$\text{NH}_3$	Penetrante, ácido
Amil mercaptano	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_3 \text{CH}_2 \text{SH}$	Putrefacción
Bencil mercaptano	$\text{C}_6\text{H}_5 \text{CH}_2 \text{SH}$	Fuerte
Butilamina	$\text{C}_2\text{H}_5 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{NH}_2$	Ácido, como el amoniac
Cadaverina	$\text{H}_2\text{N} (\text{CH}_2)_5 \text{NH}_2$	Carne en descomposición
Cloro	$\text{Cl}_2$	Desagradable, sofocante
Clorofenol	$\text{ClC}_6\text{H}_5\text{O}$	Medicinal
Crotil mercaptano	$\text{CH}_3 \text{CH}:\text{CH} \text{CH}_2 \text{S}$	Mofeta
Dibutilamina	$(\text{C}_4\text{H}_9)_2 \text{NH}$	Pescado
Diisopropilamina	$(\text{C}_3\text{H}_7)_2 \text{NH}$	Pescado
Dimetilamina	$(\text{CH}_3)_2 \text{NH}$	Pescado en descomposición
Dimetil sulfuro	$(\text{CH}_3)_2 \text{S}$	Vegetales en descomposición
Difenil sulfuro	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2 \text{S}$	Desagradable
Etilamina	$\text{C}_2\text{H}_5 \text{NH}_2$	Como amoniac
Etil mercaptano	$\text{C}_2\text{H}_5 \text{SH}$	Repollo putrefacto
Sulfuro de hidrógeno	$\text{H}_2\text{S}$	Huevos podridos
Indole	$\text{C}_8\text{H}_7\text{NH}$	Recal
Metilamina	$\text{CH}_3\text{NH}_2$	Pescado putrefacto
Metil mercaptano	$\text{CH}_3 \text{SH}$	Repollo en descomposición
Ozono	$\text{O}_3$	Irritante

Propil mercaptano	$\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{SH}$	Desagradable
Putrescina	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$	Putrefacción
Piridina	$\text{C}_6\text{H}_5\text{N}$	Irritante
Escatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Fecal
Dióxido de azufre	$\text{SO}_2$	Irritante
Terbutil	$(\text{CH}_3)_3\text{C SH}$	Mofeta
Thiocresol	$\text{CH}_3 \text{C}_6 \text{H}_4 \text{SH}$	Mofeta, rancio
Thiofenol	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SH}$	Ajo putrefacto
Trietilamina	$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$	Amoniacal, pescado

Tabla 6. Sustancias causantes de malos olores [45]

Es también importante hablar de los **Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)**. Estas sustancias son hidrocarburos muy volátiles o que se presentan en estado gaseoso a temperatura ambiente. Estas sustancias son también causantes de contaminación odorífera, y los más abundantes en el aire son el metano ( $\text{CH}_4$ ), el tolueno ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ), el n-butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), el etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), el benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), el n-pentano ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ), el propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) y el etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) [46].

Según su peligrosidad, los COVs se clasifican en tres grupos [46]:

- **Compuestos extremadamente peligrosos para la salud:** benceno, cloruro de vinilo y 1,2 dicloroetano.
- **Compuestos clase A:** aquellos que causan daños significativos al medio ambiente, tales como acetaldehído, anilina o tricloroetileno.
- **Compuestos clase B:** dañan el medio ambiente en menor medida que los pertenecientes a la categoría anterior. Entre ellos destacan la acetona y el etano.

Los COVs causan daños tanto al medio ambiente como a la salud humana. Algunos de ellos tienen la capacidad de destruir el ozono, por lo que contribuyen a la destrucción de la ya afectada capa de ozono. Además, junto con los óxidos de nitrógeno y la luz solar, ayudan a la proliferación de ozono en la troposfera, formando el conocido smog fotoquímico, lo que provoca importantes daños respiratorios.

Entre los efectos perjudiciales para la salud más comunes causados por los COV destacan los problemas respiratorios, la irritación de ojos y/garganta o mareos, pero sobre todo los daños psicológicos [46].

Pero el problema principal de los compuestos generadores de malos olores, es que son sustancias que huelen a muy bajas concentraciones, debido a la alta sensibilidad olfativa que poseemos las personas, por lo que generan daños psicológicos más que físicos.

---

---

### 2.6.2. Factores que influyen en la dispersión de olores

---

---

La contaminación odorífera tendrá mayor o menor repercusión en función, principalmente, de dos factores:

- La **magnitud de las emisiones de olor**. Esto a su vez vendrá determinado por la concentración de sustancias contaminantes en la corriente gaseosa que se esté considerando, así como de su caudal.

La concentración de sustancias odoríferas en una corriente gaseosa se determinará a través de las **unidades de olor [uo/m<sup>3</sup>]**. Esta medida se define, según la UNIE-13275, nombrada en el *Apartado 2.5.2*, como la sustancia o mezcla de sustancias que, diluidas en 1 m<sup>3</sup> de aire neutro en condiciones normales, es distinguida de aire exento de olor por el 50% de los panelistas.

Los **panelistas** son personas encargadas de estudiar las emisiones contaminantes en laboratorios de olores o al aire libre. El objetivo es que estas personas evalúen el impacto de los olores en diferentes zonas próximas a zonas de generación de emisiones contaminantes bajo todas las condiciones posibles: durante el día y la noche, durante la semana y el fin de semana, con diferentes condiciones climatológicas, etc [47]. Su existencia se justifica porque la concentración de las sustancias típicas de generación de olores es tan baja, que en general no puede caracterizarse mediante medición con aparatos.



Figura 11. Panelistas en laboratorio olfatométrico [48]

- La **dispersión de la corriente gaseosa**. Esto dependerá de las condiciones meteorológicas y de la topografía de la zona.

Los **parámetros meteorológicos** que más influyen en la dispersión de los olores son [49] [50]:

- Grado de estratificación del aire. Dependiendo de factores como la densidad del aire o la variación de la temperatura según la altura, se favorecerá más o menos la dispersión de las corrientes gaseosas. Se podrán dar las siguientes situaciones:
  - Que haya temperaturas similares a diferentes alturas. En este caso, no se favorece el movimiento de las corrientes gaseosas, por lo que la dispersión será menor.
  - Que la temperatura del aire contaminado sea menor a la del aire en el ambiente. Esto implicará que la densidad del aire contaminado sea mayor, por lo que no podrá ascender a las capas superiores.
  - Que la temperatura del aire contaminado sea mayor que la del aire en el ambiente. En este caso, se favorecerá el movimiento vertical de la corriente contaminante, y por tanto se facilitará su dispersión.
  - Que haya inversiones del gradiente de temperatura. Esto ocurre cuando no es posible la circulación vertical del aire, por lo que las sustancias contaminantes se acumulan en las capas próximas a la superficie.
- Velocidad y dirección del viento. Es evidente que, cuanto mayor sea la velocidad del viento, mayor será la dispersión de los contaminantes.
- Humedad relativa del aire. La humedad contribuye a la acumulación de contaminantes e, incluso, en contacto con ciertas sustancias, como son los óxidos de azufre y de nitrógeno, puede dar lugar a la formación de lluvia ácida.

- Precipitaciones. Favorecen la desaparición de los contaminantes al depositarlos sobre la superficie.
- Insolación. Al reaccionar con ciertos contaminantes, provoca la formación de otros contaminantes secundarios.

Por su parte, la **topografía** influirá en la aparición de fricción entre las corrientes gaseosas y la superficie, lo que favorecerá la aparición de turbulencias. Esta fricción es directamente proporcional a la rugosidad que tenga la superficie, así como a otros elementos topográficos como pueden ser montañas, lagos, zonas de cultivos, bosques y edificios. Es importante destacar que la rugosidad es mayor en las zonas urbanas que en las rurales. Cuanto mayor sea el grado de rugosidad, más difícil será el movimiento de las corrientes de aire, y por tanto se dificultará la dispersión [50].

---

---

### 2.6.3. Sistemas de control de olores

---

---

Durante la fase de explotación de la planta de tratamiento, es importante cumplir los requerimientos legislativos descritos en los *Apartados 2.4.2 y 2.5.2*, ya que esto garantizará una mejor calidad de vida de las personas que puedan verse afectadas por los olores.

Para ello habrá que controlar tanto las emisiones como las inmisiones.

- **Emisiones:** corrientes gaseosas contaminadas con malos olores emitidas por la planta de tratamiento en cuestión.
- **Inmisiones:** corrientes gaseosas que llegan a los receptores, tales como municipios o viviendas.

---

---

#### 2.6.3.1. Control de emisiones

---

---

Para un correcto control de las emisiones, se llevan a cabo las siguientes metodologías para su identificación [40]:

- Caracterización de los focos de emisión.
- Metodología de la Pluma Belga.
- Caracterización química.

A continuación, se explican estos procedimientos en más detalle.

### Caracterización de los focos de emisión

---

Esta caracterización se realiza de acuerdo a la norma UNE-EN 13725, ya explicada con anterioridad en el *Apartado 2.5.2*. Esto permitirá la localización de los focos de generación de malos olores, lo cual facilitará su tratamiento posterior.

Existen dos tipos de focos de olor:

- **Focos de olor de área:** los olores son emitidos por sólidos o líquidos a través de un área conocida, que suele ser significativa. Este sería el caso del compost o del vertido controlado. Estos olores se miden en unidades de olor emitidas por  $m^2$  de superficie [ $uo_E/m^2 \cdot s$ ].
- **Focos de olor canalizados:** los olores son emitidos por corrientes gaseosas de caudal conocido [ $m^3/s$ ]. Este sería el caso de ventilaciones.

### Metodología de la Pluma Belga

---

Se trata de una metodología de emisión-inmisión que consiste en determinar la máxima distancia que alcanza la pluma de viento contaminada con olores desde su foco de origen. Para lograr la máxima precisión se plantea previamente al muestreo varios posibles recorridos que pueda seguir el viento hasta zonas más alejadas; posteriormente, estos recorridos son seguidos por un panel que realizará diferentes mediciones de las corrientes gaseosas para determinar la intensidad de olor de las mismas.

Este método se utiliza cuando los focos de olor son muy extensos, como por ejemplo vertederos, donde tomar muestras de olores en el mismo foco resulta muy impreciso.

Las condiciones ideales para llevar a la práctica este método son:

- Cielos nublados.
- Velocidad del viento comprendida entre 2 y 8 m/s.
- Dirección adecuada del viento según los recorridos previamente establecidos.

### Caracterización química

---

Para este método es necesario recoger las muestras en bolsas que, posteriormente, se trasladarán a laboratorio para su análisis.

Una vez en el laboratorio, los compuestos orgánicos volátiles presentes en estas muestras son separados para su análisis, clasificación e identificación lo largo de varias fases:



Figura 12. Fases en el método de caracterización química de olores [40]

Todos estos procedimientos permiten conocer las emisiones que se están generando en los focos de olores de la planta de tratamiento.

Una vez identificados estos focos, será necesario controlar los parámetros de la planta para reducirlos y/o eliminarlos en la medida de lo posible. Por tanto, habrá que analizar los rendimientos de los sistemas de desodorización implantados.

---

### 2.6.3.2. Control de inmisiones

---

Entre los métodos para el control y la caracterización de las inmisiones, se encuentran los siguientes [40]:

- Modelización de la dispersión atmosférica de los olores.
- Método de la malla o metodología VDI 3940.
- Narices electrónicas o enoses.
- Cromatografía de gases.

Estos procedimientos se explican más detenidamente a continuación.

---

#### Modelización de la dispersión atmosférica de los olores

---

Consiste en aplicar modelos matemáticos para la determinación de estas inmisiones que conllevarán el análisis de las condiciones meteorológicas y topográficas de la zona a analizar. Los modelos matemáticos más extendidos y utilizados son:

- **AERMOD.** Funciona bien en condiciones estables de meteorología y perfiles orográficos sencillos. Sin embargo, cuando la topografía y/o meteorología se complican, tiende a magnificar las inmisiones, por lo que no resulta adecuado.
- **CALPUFF.** Adecuado para entornos más complicados y permite obtener resultados mucho más ajustados a la realidad. A cambio, requiere una potencia de cálculo superior, entre otros requisitos, por lo que su uso suele ser más costoso.

Es importante destacar que, previo a la modelización matemática, es necesario identificar los focos de olor.

Entre los datos de entrada con los que trabajan estos modelos matemáticos están las fuentes de emisión, los receptores (dónde se encuentran los municipios que se pueden ver afectados), la meteorología y el terreno, con los cuales se obtienen las concentraciones de inmisión.

---

#### **Método de la malla o metodología VDI 3940**

Este método consiste en la observación in situ del olor. Para ello, se hace una malla para dividir el área que se quiere analizar. Posteriormente, los panelistas acuden a las múltiples áreas resultantes en diferentes condiciones horarias, meteorológicas, etc., con el objetivo de determinar los olores que llegan a cada zona.

---

#### **Narices electrónicas o enoses**

Esta tecnología recoge los datos de inmisión en las áreas más sensibles susceptibles a sufrir la contaminación odorífera. Posteriormente, envían estos datos de manera remota y posteriormente procesados.

---

#### **Cromatografía de gases**

Este método consiste en la detección de olores mediante espectrometría de movilidad iónica (IMS). Este procedimiento se encuentra dentro del control de inmisiones ya que las muestras que se utilizan son tomadas en los receptores, aunque habrá casos en los que también será necesario tomar muestras en el foco de generación de olor.

Este análisis con espectrómetros de movilidad iónica se realiza mediante herramientas químicas, lo que permite un análisis de los contaminantes odoríferos a través de su comparación con patrones de contaminantes presentes en otras muestras. Estos patrones estarán almacenados en

librerías de datos, por lo que a través de softwares será fácil la comparación entre ellos y las muestras tomadas.



---

---

## 2.7. SISTEMAS DE DESODORIZACIÓN

---

---

### 2.7.1. Definición y características

---

---

La desodorización es el proceso mediante el cual se tratan corrientes gaseosas para eliminar los compuestos presentes en ellas que causan malos olores.

Para saber qué sistema de desodorización es el más adecuado, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos [51]:

- Identificar el foco del olor, su naturaleza y la topografía de sus alrededores.
- Determinar el volumen y las características del aire que se va a tratar.
- Decidir cómo va a captarse el aire que se va a tratar.
- Resolver el tratamiento de los subproductos que van a generarse.

---

---

### 2.7.2. Procesos y tecnologías actuales de desodorización

---

---

El principal objetivo de este Trabajo es el análisis de las diferentes tecnologías de desodorización existentes actualmente, con el fin de mejorar la problemática de olores que afecta a los vecinos que viven en los alrededores del Parque Tecnológico de Valdemingómez.

En este apartado se explicarán los sistemas de desodorización que son interesantes para la eliminación de sustancias contaminantes en corrientes gaseosas:

- ❖ Desodorización por lavado químico – página 82.
- ❖ Desodorización con carbón activo – página 87.
- ❖ Desodorización a través de biofiltros - página 91.
- ❖ Desodorización con sistemas generadores de ozono – página 100.
- ❖ Quemadores de gas residual – página 101.

A continuación, se explican los principales sistemas de desodorización empleados actualmente.

---

---

#### 2.7.2.1. Lavado o absorción química

---

---

Este sistema está basado en la neutralización-oxidación química de los componentes que causan malos olores, y su principio de funcionamiento se encuentra en la **absorción química**, que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa mediante su disolución selectiva en un líquido ajeno a la misma [52].

**Estos sistemas son especialmente adecuados para la eliminación de compuestos hidrosolubles y contaminantes con alto contenido en azufre o amoníaco, y alcanzan eficiencias próximas al 60%.**

Además, su principal característica es que se consigue la desodorización de corrientes gaseosas en varias etapas, por lo que resulta especialmente útil cuando estas corrientes presentan **numerosos compuestos responsables de olores** que será necesario tratar de diferente manera [51].

En este proceso se emplearán reactivos de oxidación, cuya principal característica es que no huelen ni emiten olores que pueden ser absorbidos por el propio sistema de desodorización. Los más comunes son [53]:

- Hipoclorito sódico en medio alcalino.
- Agua oxigenada.
- Permanganato potásico.

Las **principales ventajas** de este sistema son [51]:

- Su disposición puede ser vertical u horizontal.
- Se trata de una tecnología muy consolidada.
- No presenta altas exigencias en cuanto a la necesidad de espacio.

Por su parte, hay que tener en cuenta que estos sistemas, denominados también como **lavadores o scrubbers**, funcionan bien con **caudales pequeños**, por lo que suelen ser **tecnologías complementarias a otros sistemas de desodorización**.

### **Tipos de torres de absorción**

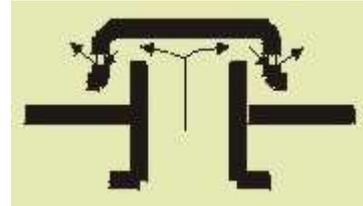
---

El proceso de absorción química para la eliminación de olores en corrientes gaseosas puede llevarse a cabo en los siguientes equipos [54]:

- **Columnas de platos.** La eliminación de las sustancias generadoras de malos olores se produce en etapas, constituidas por los diferentes platos que constituyen la columna. Como se explicará más adelante, la corriente gaseosa entra por la parte inferior de la torre, mientras que el disolvente líquido lo hace por la parte superior, y la mezcla de ambos se produce en los diferentes platos distribuidos a lo largo de la torre. Cuanto mayor sea el número de platos, mejor se eliminarán las sustancias contaminantes.

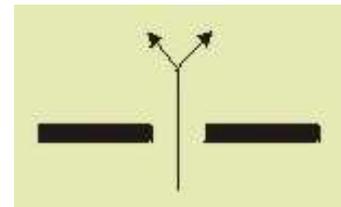
Existen diferentes **tipos de platos**:

- Platos de campanas de barboteo. Su uso se ha visto considerablemente reducido, restringiéndose a aquellos casos en los que es necesario controlar el tiempo de residencia para que se produzca una reacción química o si el flujo de vapor es escaso y se produce un goteo del líquido.



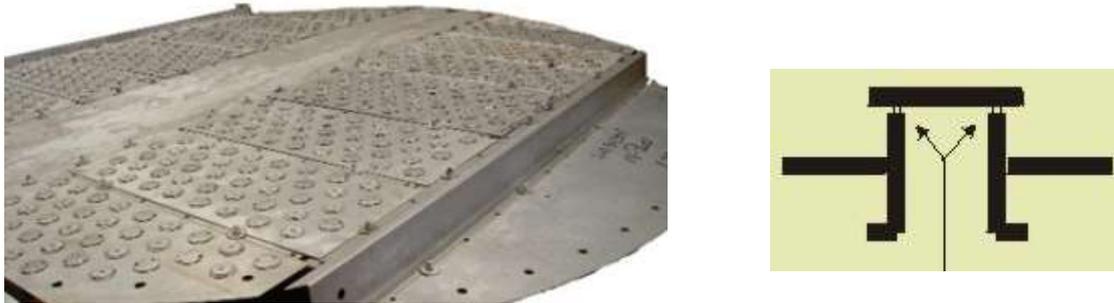
*Figura 13. Platos de campanas de barboteo [55]*

- Platos perforados. Es el tipo más utilizado, sobre todo por ser el más económico.



*Figura 14. Platos perforados [55]*

- Platos de válvulas. Es la solución intermedia entre los dos tipos anteriores, y se emplean cuando se requiere más flexibilidad que la proporcionada por los platos perforados.



*Figura 15. Platos de válvulas [55]*

- **Columnas de relleno.** En este caso, el contacto entre el líquido y la corriente gaseosa se produce de forma continua a lo largo de toda la torre, siendo la función del relleno aumentar la superficie de contacto entre ambas sustancias. Sin embargo, cuanto mayor sea el tamaño del relleno, menor será la eficiencia de transferencia entre ambas corrientes, por lo que aumentará la pérdida de carga.

Este tipo de columnas cuentan con un distribuidor en la parte superior que esparce el líquido de manera uniforme por todo el relleno.

Al igual que en el caso anterior se tenían diversos tipos de platos, en este caso se tienen también diferentes tipos de relleno. La elección de un tipo u otro dependerá de las propiedades del relleno, tales como su resistencia a la corrosión o su resistencia mecánica y térmica. Así, se tendrán los siguientes tipos de relleno:

- Relleno al azar. Compuesto por materiales resistentes a la corrosión, tales como materiales metálicos, cerámicos o de plástico, se trata del relleno más económico
- Relleno estructurado. Aunque es más caro que el anterior, evita tener una pérdida de carga tan elevada, lo que hace que el sistema aumente su eficiencia y su capacidad.

Será más conveniente el uso de las columnas de relleno en lugar de columnas de platos en los siguientes casos:

- Cuando el espacio disponible sea menor.
- Si la corriente gaseosa es corrosiva.
- Si la pérdida de carga tiene que mantenerse baja.

- Si la velocidad con la que cae el líquido disolvente es elevada.
- **Absorbedores de película.** Se emplearán cuando en el proceso de absorción se alcancen temperaturas muy elevadas.
- **Contactores centrifugos.** Se tiene una serie de anillos concéntricos estacionarios que engranan con un segundo conjunto de anillos unidos a un plato giratorio. El líquido atraviesa los anillos en sentido descendente, mientras que la corriente gaseosa podrá atravesar dichos anillos en sentido ascendente o descendente.

### Disposición de los sistemas de absorción química

La solución más común presenta **dos etapas**. Cuenta, por tanto, con dos torres de lavado en serie conectadas entre sí. En la **primera torre** se lleva a cabo un **lavado de neutralización** que elimina los compuestos alcalinos causantes de olores. En la **segunda torre** se produce la reacción química de **oxidación-neutralización** con un reactivo oxidante, que normalmente será hipoclorito de sodio (NaClO) o sosa cáustica (NaOH) [51] [53].

El líquido utilizado para la neutralización (disolvente) se rocía desde la parte superior de las torres gracias a la acción de bombas de recirculación. El sentido contrario de las corrientes hace que la neutralización sea mucho más eficaz. A medida que la corriente gaseosa recorre en sentido ascendente la torre, las partículas contaminantes van desapareciendo, de manera que, por la parte superior de la torre, sale el gas purificado.

La siguiente figura muestra un esquema de funcionamiento de este sistema:

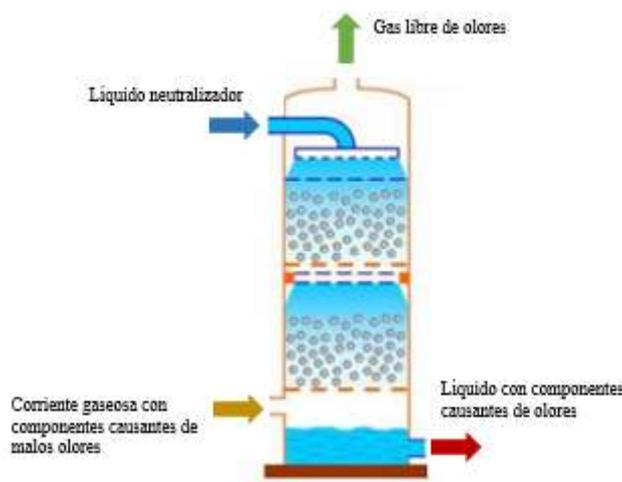


Figura 16. Esquema de funcionamiento de sistema de desodorización por lavado químico [52]

Además de la bomba de recirculación que permite la pulverización del líquido neutralizador desde la parte superior, se cuenta con otra serie de tecnologías que permiten que el volumen pulverizado sea constante, así como el pH sea en todo momento alcalino o ácido, es decir, inferior a 7.

Asimismo, se busca aumentar la superficie de contacto en el interior de la torre, de manera que se favorezca la transferencia de materia [53].

Existen también sistemas de lavado químico en **tres etapas**. Estos sistemas se emplean cuando las corrientes gaseosas contienen amoníaco, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos. En este caso, se disponen tres torres de lavado en serie, y en cada una se produce un tipo de lavado: ácido, oxidante y básico: en la primera torre se elimina el amoníaco, en la segunda se produce el lavado con un reactivo oxidante, y en la última se lleva a cabo una neutralización de la corriente gaseosa.

---

### Parámetros de diseño

---

A la hora de dimensionar estos sistemas, se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- **Temperatura, composición, presión, velocidad y viscosidad de la corriente gaseosa** que se va a tratar.
- **Caudal** de la corriente gaseosa.
- **Tipo de disolvente** a emplear, así como su velocidad de operación.
- **Presión y temperatura de operación de la columna.**
- **Número de etapas de la columna** (en caso de emplearse columnas de platos).
- **Tipo de relleno** (en caso de emplearse columnas de relleno).
- **Densidad y diámetro de las partículas que quieren ser eliminadas.**
- **Altura y diámetro de las torres.**

---

#### 2.7.2.2. Sistemas con carbón activo

---

Estos sistemas basan su funcionamiento en la **adsorción química**, que consiste en la separación de uno o más componentes, en este caso de una corriente gaseosa, mediante un sólido adsorbente ajeno, en este caso **carbón activo**, donde quedan retenidos [52], gracias a la elevada porosidad de este material.

El uso de estos sistemas es **especialmente aconsejable cuando se quieran eliminar de la corriente gaseosa sustancias tales como cloro, clorofenol u ozono** [56].

El proceso tiene lugar en **torres de adsorción**, en cuya entrada puede instalarse un prefiltro que evite la entrada de partículas que disminuyan las propiedades del carbón activo [51].

Las **principales ventajas** que presentan estos sistemas son las siguientes [51]:

- Adecuados para **caudales pequeños** de corrientes gaseosas.
- Puede afrontar variaciones en la corriente que se está tratando de las sustancias responsables de los malos olores.
- Gran variedad y disponibilidad de muchos tipos de carbón activo según el tipo de sustancia que se quiera eliminar.
- Bajas exigencias de espacio.
- Se pueden alcanzar eficiencias de hasta el 90%.

Por su parte, estos sistemas presentan los siguientes **inconvenientes** [29]:

- No son adecuados para caudales medio-altos.
- Poca durabilidad: los cartuchos de carbón activo requieren ser renovados muy habitualmente. Además, la elevada biodiversidad de las corrientes que se tratan hace que la eficacia de estos cartuchos disminuya rápidamente. Esto provoca que el coste de estos sistemas sea muy elevado.
- Una vez el carbón activo pierde su utilidad, se convierte en un residuo peligroso.
- No es adecuado para tratar concentraciones elevadas de H<sub>2</sub>S.
- Se requieren ventiladores muy potentes para otorgar la presión necesaria a la corriente que se va a tratar.
- La eliminación o regeneración del carbón activo una vez ha sido utilizado puede presentar problemas y costes elevados.

---

### **Tecnología de adsorción por carbón activo**

---

Un equipo completo de desodorización por carbón activo cuenta con [29]:

- Red de conductos para la captación de las corrientes de aire que se van a tratar.
- Ventilador para proporcionar la presión suficiente a dichas corrientes.
- Torres de carbón activo para la eliminación de los componentes causantes de los malos olores.

La siguiente imagen muestra el esquema simplificado de una instalación de desodorización en torres de carbón activo:

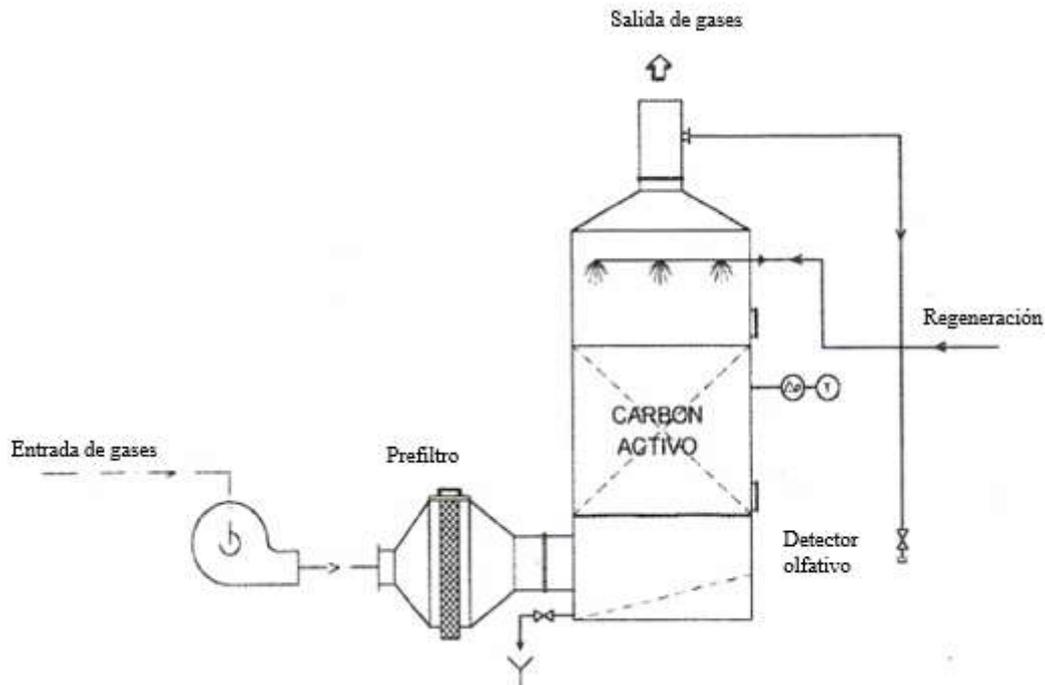


Figura 17. Esquema de instalación de desodorización con carbón activo [29]

Puede ocurrir que el proceso no se desarrolle de la forma deseada y el carbón activo no retenga las sustancias que quieren ser eliminadas de la corriente gaseosa. En este caso, el carbón activo, ya impregnado con sustancias presentes en la corriente gaseosa, puede volver a utilizarse, aunque con una efectividad menor.

El principal problema de esta tecnología recae en la rápida pérdida de eficiencia de los cartuchos de carbón activo, lo que hace que aumente considerablemente el coste de mantenimiento.

### Tipos de carbón activo

Una primera clasificación atendiendo al tamaño de grano hace que se diferencie entre:

- **Carbón activo granular.** Si el grano tiene un diámetro mayor.
- **Carbón activo en polvo.**

Una segunda clasificación permite obtener diferentes tipos de carbón activo según el material del que proceden. Así, se distingue entre [29]:

- **Carbón de origen mineral.** Para aplicaciones en las que los tipos de olores a tratar no son tan específicos y su intensidad no es muy elevada. Es el carbón activo más

económico. Algunos de los materiales a partir de los que se obtendrían estos carbones son: antracita, hulla, lignito o turba.

- **Carbón de origen vegetal.** Se emplea cuando las condiciones de trabajo son inestables, sobre todo en procesos industriales. Entre los materiales de los que se obtienen estos carbones están: madera, residuos de madera, cáscara de coco, bagazo o huesos de frutas.
- **Carbón de origen vegetal impregnado.** En este caso, la superficie del carbón activo se impregna con un material especialmente adsorbente. Estos materiales son principalmente: óxidos metálicos, cobre, azufre, plata, yoduro, sosa cáustica y permanganato potásico. Este carbón se utiliza en casos especiales, cuando los olores a tratar son de naturaleza compleja y su intensidad muy elevada.

Por último, como ya se ha comentado anteriormente, el carbón activo puede ser reutilizado una vez haya acabado su vida útil, aunque para ello tiene que someterse a un proceso de regeneración. Después de este proceso, se obtiene el carbón activo regenerado. Existen dos vías de regeneración: química y térmica. La primera, en la cual se suelen emplear sustancias como NaOH o H<sub>2</sub>S, se lleva a cabo en torres en las que el lecho se inunda con la solución cáustica para posteriormente vaciarlo y proceder al secado del carbón. La segunda se lleva a cabo en hornos en los que se llegan a alcanzar los 1000°C.

A su vez, para la elección del tipo de carbón activo, se tienen en cuenta los siguientes parámetros [29]:

- **Número de yodo [mg I<sub>2</sub>/g de carbón].** Indica los miligramos de yodo que puede absorber un gramo de carbón activo, y es directamente proporcional al área superficial del carbón.
- **Diámetro del poro del carbón activo [Angstroms].** El diámetro del poro del carbón activo debe ser mayor que el de las moléculas que se quieren eliminar. Se puede encontrar carbón activo de microporos (diámetro inferior a 20Å), de mesoporos (diámetro comprendido entre 20 Å y 200 Å) y de macroporos (diámetro superior a 200 Å).
- **Contenido de cenizas [%].** Es posible que el carbón activo presente un cierto porcentaje de cenizas, las cuales no contribuyen a una correcta adsorción e incluso pueden provocar la ignición del carbón. Para evitar esto, si el contenido en cenizas es

muy elevado, previamente a su utilización, el carbón activo se lava con ácido clorhídrico.

- **Tamaño de partícula.** El carbón activo viene dispuesto en mallas en las que se estandariza el tamaño de partícula que dejan pasar.
- **Dureza del carbón activo.** Es importante tenerlo en cuenta si la posible rotura del carbón afecta al funcionamiento del sistema de desodorización.

---

### Parámetros de diseño

---

A la hora de dimensionar estos equipos, será necesario tener en cuenta los siguientes parámetros [53]:

- **Sustancia a adsorber.** Sus características harán variar la capacidad de adsorción. Por ejemplo, aquellas sustancias que presentan una temperatura de ebullición alta, son generalmente bien adsorbidas. Sin embargo, aquellas sustancias que no presentan esta ventaja, como pueden ser los hidrocarburos o los sulfuros, requerirán un recubrimiento adicional con otro adsorbente.
- **Temperatura de la corriente gaseosa.** Cuanto menor sea, con más facilidad ocurrirá la adsorción.
- **Concentración de las sustancias contaminantes** en la corriente gaseosa. Cuanto mayor sea dicha concentración, mayor cantidad de adsorbente habrá que emplear.
- **Humedad.** Se necesita una humedad relativa que varíe entre el 70% y el 75% para que el proceso sea favorable.
- **Presión.** Cuanto mayor sea la presión de la corriente gaseosa, aumentará la capacidad de adsorción.
- **Velocidad de paso del adsorbente** a través de la corriente que se quiere tratar: cuanto mayor sea esta velocidad, mejores resultados tendrá el proceso de adsorción.
- **Caudal** de la corriente gaseosa.

---

#### 2.7.2.3. Sistemas de biofiltración

---

Estos sistemas se constituyen por un lecho o relleno de biomasa dispuestos en el interior de un reactor que se activa con la introducción de ciertos microorganismos. Estos microorganismos degradarán biológicamente las sustancias odoríferas de las corrientes gaseosas a tratar.

**Esta tecnología es especialmente recomendable cuando las concentraciones de sustancias odoríferas son bajas, y son en su mayoría COV's.**

Este proceso sigue varias **etapas** [29] [51]:

- Antes de entrar al reactor, la corriente gaseosa se somete a un pretratamiento para obtener los niveles adecuados de temperatura y humedad en un sistema de humidificación. Este proceso es especialmente importante, ya que, si el caudal entra al biofiltro en condiciones no adecuadas, podría ocurrir que el relleno del biofiltro se secase y su biología muriese, perdiendo así su capacidad de eliminación de sustancias contaminantes.
- Por último, la corriente gaseosa atraviesa el biofiltro, donde microorganismos transforman las sustancias causantes de malos olores en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y biomasa.

Para poder comprender el funcionamiento intrínseco de los sistemas de biofiltración, es necesario comprender su **fundamento teórico** [57].

De aquí en adelante, el contenido de sustancias contaminantes en la corriente a tratar se denominará **adsorbato**, y el lecho que constituye el biofiltro, encargado de la captación de estos contaminantes, **adsorbente**.

La corriente a tratar se introduce en el biofiltro con una cierta concentración de adsorbato, C<sub>0</sub>. La idea es que, a la salida del biofiltro, esta concentración sea nula. En cualquier punto intermedio del biofiltro, se tendrá una concentración de adsorbato que pasará a denotarse como C.

Inicialmente, la eliminación de las sustancias contaminantes se produce a la entrada del biofiltro, es decir, en la parte inferior del relleno, en la denominada zona de transferencia de materia, MTZ<sup>6</sup>. Sin embargo, con el paso del tiempo, la parte inferior del lecho va perdiendo capacidad de adsorción, por lo que la eliminación del adsorbato se va produciendo en zonas cada vez más próximas a la superficie del lecho y a la salida del biofiltro, produciéndose el desplazamiento de la MTZ a lo largo del biofiltro:

---

<sup>6</sup> MTZ, por sus siglas en inglés Mass Transfer Zone.

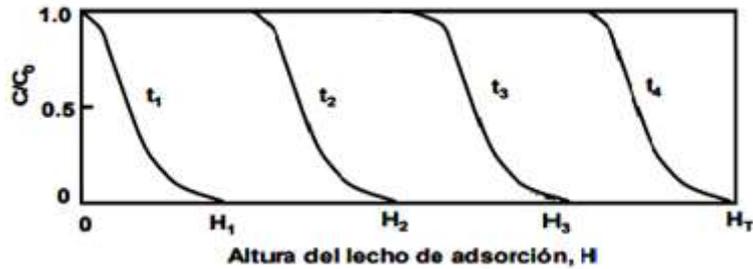


Figura 18. Curvas de avance: evolución de la concentración de la corriente tratada a lo largo del tiempo [57]

La Figura 18 muestra la evolución del comportamiento del biofiltro a lo largo del tiempo. Siendo  $t_1$  el tiempo en el que comienza a funcionar el biofiltro, se puede ver cómo la concentración de adsorbato en la corriente que se está tratando es nula a una altura  $H_1$  próxima a la parte inferior del lecho. A medida que el tiempo va pasando, se alcanza una concentración  $C$  nula a alturas superiores, hasta que la MTZ llega a la parte más alta del lecho en  $t_4$ .

Cuando la parte superior del lecho también comienza a saturarse de adsorbato, la concentración de contaminantes en la corriente tratada a la salida del biofiltro deja de ser nula para empezar a aumentar, alcanzándose para una determinada concentración el punto de ruptura<sup>7</sup>,  $C_b$ , que representa el punto de saturación del biofiltro.

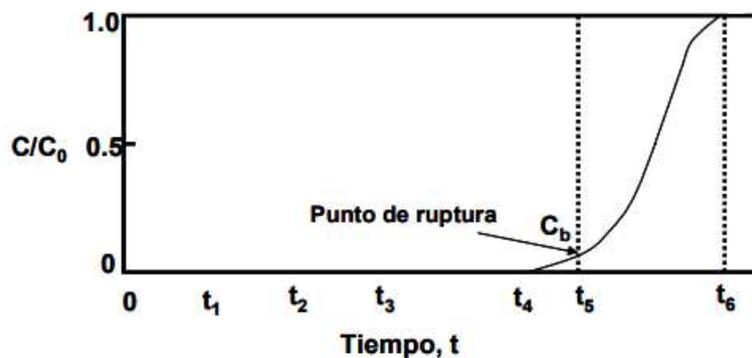


Figura 19. Curva de saturación del biofiltro [57]

A partir del punto de ruptura, la concentración a la salida aumenta exponencialmente hasta que el biofiltro pierde su efectividad por completo y la concentración de contaminantes a la salida es igual que a la entrada. Es en este momento cuando será necesario cambiar el relleno del biofiltro.

<sup>7</sup> En el punto de ruptura, el cociente  $C_b/C_0$  se suele fijar en el rango de valores comprendidos entre 0,01 y 0,05.

Las principales **ventajas** de estos sistemas son las siguientes [51]:

- Rendimientos elevados.
- Bajos costes operativos.
- Elevada durabilidad.
- No se requieren mantenimientos complejos ni el uso de productos químicos.
- **Adecuado para el tratamiento grandes caudales.**

Por su parte, cuentan también con los siguientes **inconvenientes** [51]:

- Necesidad de operación ininterrumpida por tratarse de un ecosistema biológico.
- Elevado consumo de agua para mantener las condiciones óptimas en el relleno.
- Altas exigencias de espacio.
- Si la corriente a tratar presenta elevadas concentraciones de sustancias odoríferas, se hace necesaria la instalación de un scrubber que actúe antes del biofiltro.

Los sistemas de desodorización basados en biofiltros se han desarrollado enormemente durante los últimos años debido a su carácter sostenible, por lo que han surgido múltiples variantes. Gracias a esta gran variedad, es posible tratar toda clase de corrientes gaseosas contaminadas, existiendo sistemas que permiten tratar caudales de hasta 500.000 m<sup>3</sup>/h.

### **Tipo de relleno del biofiltro**

---

Dependerán del relleno que presenten, que puede ser **orgánico o inorgánico**:

- **Relleno orgánico:** suelo, compost, turba, brezo, corteza o mezcla de rellenos. Estos rellenos presentan su propia flora microbiana, así como se autoabastecen con los nutrientes necesarios para la actividad microbiana [29]. Debido a su alta disponibilidad, este relleno es muy económico, pero su durabilidad es mucho menor que el del relleno inorgánico. Además, pierde mucha eficiencia a lo largo de su uso, alcanzándose apenas rendimientos del 60%.



*Figura 20. Biofiltro abierto de relleno orgánico [6] [58]*

- **Relleno inorgánico:** este relleno requiere unos costes de inversión y de explotación mucho mayores que el anterior, pero su durabilidad es mucho mayor, pudiendo rondar entre los 6 y 8 años, así como su rendimiento, que se suele situar por encima del 90%. Además, requieren una mayor superficie (**la altura del relleno en medio inorgánico es de 1 m, mientras que la altura del relleno en medio orgánico es de 1,5 m**).

Por todo ello, se recomienda el uso de rellenos orgánicos frente a inorgánicos si se quiere dar prioridad a los costes, pero se hace la recomendación contraria cuando se quiere priorizar la eficiencia de depuración de olores.

Un claro ejemplo de relleno inorgánico sería el carbón activo, que es capaz de adsorber parte de las sustancias contaminantes (como ya se ha comentado anteriormente), y regular su concentración [29].

Otro ejemplo de relleno inorgánico ampliamente utilizado sería la arcilla. Sin embargo, en el caso de rellenos inorgánicos de arcilla aumentan las probabilidades de que el relleno se compacte y pierda eficacia. Para evitar esto, se disponen unas bolas de arcilla de diámetro mucho mayor junto con un biomedio, denominado leca, que reducirá esta sensibilidad a la compactación.



Figura 21. Biofiltro de medio inorgánico utilizado en la Planta Ecoparc del Besos, S.A. [21]

	<b>Relleno orgánico</b>	<b>Relleno inorgánico</b>
<b>Durabilidad</b>	3-5 años	6-8 años
<b>Altura de relleno</b>	1,5 m	1 m
<b>Eficacia</b>	≈60%	≈90%
<b>Materiales</b>	-Biomasa vegetal -Brezo -Cortezas -Astillas de madera -Fibras de coco -Turba	-Rocas porosas -Tierra -Perlita -Arcilla -Espuma de poliuretano -Tierra volcánica -Carbón activo -Piedra molida

Figura 22. Comparación entre relleno orgánico e inorgánico [6]

### **Tipos de biofiltros**

Existen los siguientes tipos de biofiltros [59]:

- Biofiltros convencionales.
- Biolavadores.
- Biofiltros percoladores.

A continuación, se explican cada uno de ellos:

- **Biofiltros convencionales.** Estos biofiltros pueden ser de dos tipos, **abiertos o cerrados**, en función de la disposición del reactor en el que se encuentra el lecho de biomasa. Ambos casos presentan el sistema de humidificación previo a la entrada al reactor. Es posible que estos sistemas tengan aspersores que rocíen agua sobre el biofiltro, pero en ningún caso presentan una fase acuosa móvil. [59]

Son **especialmente útiles para sustancias contaminantes poco solubles en agua.**

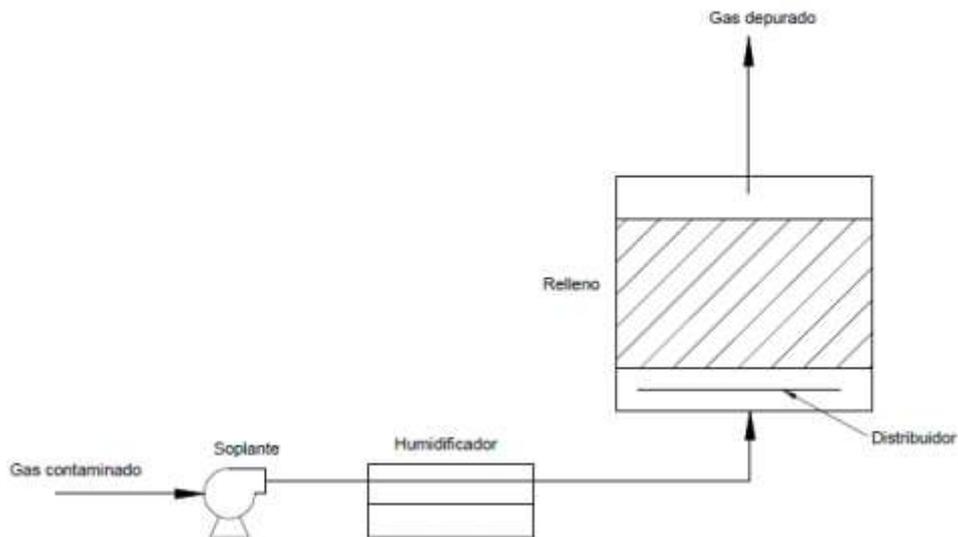


Figura 23. Esquema general de funcionamiento de un biofiltro convencional [60]

- **Biolavadores.** En este tipo de sistemas, la corriente gaseosa se trata en dos etapas [59]:
  - En la **primera etapa**, el caudal de gas pasa por una torre de absorción en la que se mezcla con las sustancias en fase acuosa utilizadas para su eliminación, con lo que desaparecen las sustancias contaminantes y los compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles.
  - En la **segunda etapa**, la corriente líquida que ha eliminado los componentes contaminantes de la corriente gaseosa se trata en un biorreactor, que suele ser de lodos activos<sup>8</sup>. Una vez ha sido tratada esta corriente líquida, se puede recircular de nuevo a la torre de absorción.

---

<sup>8</sup> El Sistema de fangos o lodos activos es el más extendido para la eliminación de materia orgánica en las EDAR. Se basa en la biodegradación de esta materia orgánica para eliminarla posteriormente mediante sedimentación.

El principal inconveniente que presentan este tipo de instalaciones es su limitada aplicación a **compuestos fácilmente solubles en fases acuosas**.

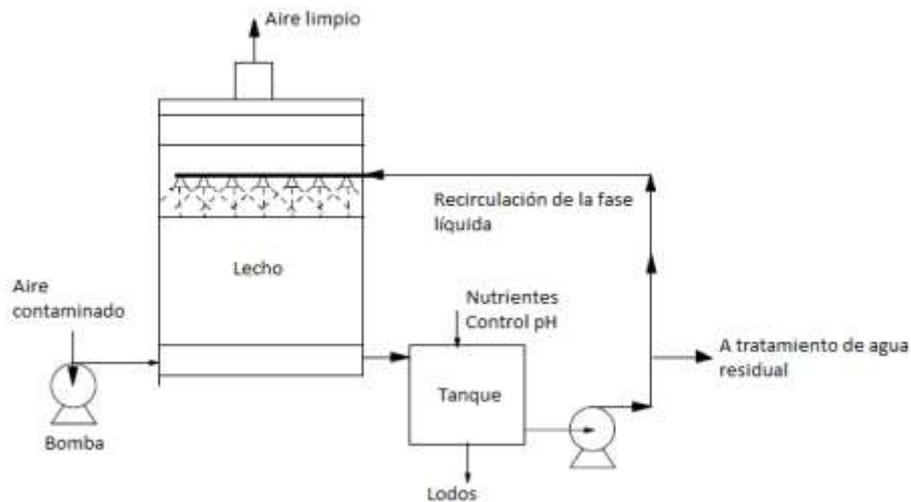


Figura 24. Esquema de funcionamiento de los biolavadores [60]

- **Biofiltros percoladores** [59]. Presentan una principal diferencia respecto a los biofiltros convencionales cerrados, y es que el reactor, en este caso, es alimentado constantemente con una fase acuosa gracias a un **goteo constante** desde la parte superior (cuando en el caso de los primeros, como mucho se rociaba agua sobre el lecho de biomasa). Estos biofiltros están constituidos por una columna de relleno con las condiciones óptimas para que los microorganismos puedan desarrollarse.

Los **rellenos** utilizados en estos casos serán **de tipo inorgánico**, el cual podrá mezclarse con relleno orgánico para facilitar el desarrollo de microorganismos. Tal sería el caso de los **biofiltros de tecnología avanzada**, que combinan la resistencia mecánica del medio inorgánico con las características óptimas del medio orgánico para el desarrollo de los microorganismos encargados de eliminar los contaminantes de la corriente gaseosa. Las principales ventajas de esta tecnología avanzada son [61] [62]:

- Aumento de la eficacia respecto a los biofiltros convencionales, que puede rondar el 95%.
- Aumento del ciclo de vida del biofiltro (en algunos casos se llegan a los 10 años de funcionamiento).

- El proceso de eliminación de contaminantes emitirá menos olor de manera intrínseca, lo que permite una reducción de la producción de olor durante el proceso.
- Mayor robustez.
- Permite tratar un mayor caudal.

Sin embargo, el rápido crecimiento de microorganismos en el interior del medio filtrante puede suponer un problema:

*Tasa crecimiento microorganismos*

$$= \sum_i ((\mu_i - d_i) \cdot X_i - \text{Predación}_i - \text{Lavado}_i)$$

*Ecuación 1. Tasa de crecimiento de biomasa en un biofiltro [60]*

Siendo:

- $\mu_i$  la velocidad específica de crecimiento de los microorganismos.
- $d_i$  la muerte de microorganismos en el biofiltro.
- $X_i$  microorganismos activos en el biofiltro.

Según la *Ecuación 1*, se podrían contemplar los siguientes procedimientos para el control del crecimiento incontrolado de biomasa dentro del biofiltro [60]:

- a. **Reducción de la velocidad específica de crecimiento** con una menor aportación de los nutrientes que favorecen este proceso. Esto presenta ventajas e inconvenientes, ya que con esto también disminuiría la actividad de los microorganismos, lo que conllevaría la reducción de la eficacia del biofiltro.
- b. **Estimulación de la aparición de organismos predadores de la biomasa**, como por ejemplo protozoos o larvas. Con esto se conseguiría controlar el crecimiento incontrolado de microorganismos sin pérdida de eficacia en el biofiltro, pero se añadiría un problema adicional: el control de los organismos predadores.
- c. **Eliminación del exceso de biomasa** mediante el lavado del reactor o agitando el lecho de forma periódica.

## Parámetros de diseño

---

Para el **dimensionamiento** de estos sistemas de desodorización hay que contemplar los siguientes aspectos [29] [53]:

- **Biodegradabilidad** de las sustancias odoríferas presentes en las corrientes gaseosas que se van a tratar, así como su nivel de concentración.  
Será muy importante controlar el crecimiento de la biomasa dentro del biofiltro, ya que su crecimiento descontrolado podría causar la sedimentación del relleno y la pérdida de eficacia del proceso.
- **Caudal** de la corriente de aire que se va a tratar.
- **Temperatura y nivel de humedad.** Cuanto mayor es la temperatura de la corriente que se va a tratar, mayor ritmo de evaporación presenta el agua presente en el biofiltro, lo que hace aumentar la humedad del sistema, efecto no deseado. En cualquier caso, la temperatura en el proceso viene determinada por el tipo de microorganismo encargado de la eliminación de las sustancias contaminantes, y suele estar comprendida entre la temperatura ambiente y los 35-40°C. Por su parte, el nivel de humedad relativa recomendado está entre el 40% y el 60%. [29]
- **Velocidad de paso del caudal a través del biofiltro.**

---

### 2.7.2.4. Sistemas de oxidación con ozono

---

El ozono presenta numerosas ventajas en el tratamiento de olores. Su tercer átomo se desintegra con mucha rapidez, lo que por una parte presenta dificultades para su producción y transporte, pero que, por otra, le otorga una gran rapidez de actuación y hace que, tras su actuación, se convierta en oxígeno y desaparezca sin dejar rastro, otorgándole las características de ser inodoro, insípido, y no perjudicial para la salud. Gracias a su elevado poder oxidante (es el segundo elemento más oxidante, por detrás del flúor), facilita la desaparición de las sustancias causantes de olores presentes en las corrientes tratadas. Asimismo, actúa como desinfectante, lo que permite seguir un control microbiológico exhaustivo [53].

Estos sistemas presentan **tres elementos fundamentales** [29]:

- **Generador de ozono.** Resulta de vital importancia, ya que se encarga de aportar la cantidad necesaria de ozono al sistema, así como del pretratamiento de la corriente gaseosa que se va a tratar.

La **tasa de ozono requerida** en estos sistemas oscila entre 15 y 30 mg/m<sup>3</sup>.

- **Cámara de dilución.** En esta fase se produce la dilución del ozono con la corriente gaseosa que se está tratando. El ozono es poco soluble, de ahí la importancia de este elemento. Su grado de disolución dependerá de la temperatura del aire que se está tratando, así como de su presión y su grado de pH.
- **Equipo de absorción/oxidación.** Presenta varias etapas dispuestas de manera horizontal, y en cada una de ellas se produce la pulverización de líquido absorbente sobre la disolución ozonizada. El rendimiento de la absorción dependerá de la transferencia de masa, la superficie y el tiempo de contacto, del ratio de lavado [l/m<sup>3</sup>] y del potencial oxidante de la corriente ozonizada. Este equipo cuenta con sistemas de control que evitan la fuga de ozono, así como controlan los niveles de pH, para determinar la cantidad de ozono necesaria en el sistema para eliminar los olores de la corriente que se está tratando.

Es posible conseguir altos rendimientos con esta tecnología; sin embargo, estos sistemas exigen un mayor coste de explotación y presentan el inconveniente de que la producción de ozono no está suficientemente extendida en la industria, por lo que tampoco resulta fiable al 100%.

Además, si la corriente a tratar contiene partículas (lo cual es habitual cuando existe compostaje), no es recomendable el uso de estos sistemas, ya que son muy sensibles a estas partículas.

---

#### **2.7.2.5. Quemadores de gas residual**

---

Esta tecnología permite quemar los gases COV en un sistema que puede ser abierto o cerrado, con el fin de limpiar números tipos de emisiones.

Sin embargo, el elevado consumo de combustible hace que no sea una tecnología de especial interés.

A continuación, se adjunta una tabla que recopila, a modo resumen, las características de los principales sistemas de interés:

	<b>Absorción química</b>	<b>Adsorción con carbón activo</b>	<b>Biofiltración</b>
<b>Tipos de olores eliminados</b>	-Compuestos hidrosolubles -Alto contenido en azufre o amoníaco	-Cloro -Clorofenol -Ozono	-Amoníaco -Azufre -COV's
<b>Caudales</b>	Pequeños	Pequeños	Grandes
<b>Eficiencias</b>	≈ 60%	≤ 90%	≥ 95%
<b>Tipos</b>	-Columnas de platos -Columnas de relleno -Absorbedores de película -Contactores centrífugos	-CA de origen mineral -CA de origen vegetal -CA de origen vegetal impregnado	-Biofiltros convencionales, abiertos o cerrados -Biolavadores -Biofiltros percoladores (tecnología avanzada)
<b>Ventajas</b>	-Requieren poco espacio -Disposición vertical u horizontal -Tecnología muy consolidada	-Alta versatilidad por los diferentes tipos de C.A. -Bajas exigencias de espacio	-Alta durabilidad -Bajos costes de operación -No requiere uso de productos químicos
<b>Inconvenientes</b>	-Necesario complementarlos con otras tecnologías	-Poca durabilidad -El CA se convierte en residuo peligroso después de su vida útil	-Necesidad operación ininterrumpida -Altas exigencias de espacio -Elevado consumo de agua

Tabla 7. Tabla comparativa de los diferentes sistemas de desodorización [6]



## 2.8. OPERACIÓN DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ

El Parque Tecnológico de Valdemingómez se encarga del tratamiento de la mayoría de los residuos urbanos generados tanto en la ciudad de Madrid como en los municipios de Arganda, Rivas y la Mancomunidad del Este.

En la siguiente figura se muestra la vista aérea del complejo del Parque:



Figura 25. Vista aérea del Parque Tecnológico de Valdemingómez [63]

Actualmente, el nivel de generación de residuos en las zonas a las que atiende el Parque se sitúa en 1,06 kg/día por ciudadano (cifra que probablemente sea incluso más elevada). Esto se traduce en una producción de 3.300 toneladas de residuos al día, o lo que es lo mismo, 1,2 millones de toneladas al año. Además, un dato preocupante es que, en los últimos 50 años, se ha producido más cantidad de basura que en el resto de años anteriores.

A pesar de que la concienciación ciudadana en materia de separación de los residuos ha aumentado, sobre todo después de la introducción del cubo marrón para la fracción orgánica, la generación de residuos no ha disminuido. Además, se sigue sin conseguir una correcta separación de los diferentes tipos de desechos, pues para alcanzar una separación completamente óptima harían falta hasta 10 cubos diferentes de basura.

Es importante destacar que en el Parque no se lleva a cabo el reciclaje de los residuos. Una vez llegan, se llevan a cabo tareas de separación y recuperación, después de las cuales aquellos residuos que no han podido ser recuperados se subastan a empresas recicladoras [63].

A continuación, se facilitan algunos datos importantes del Parque [6]:

- El 22% de los residuos que llegan al Parque se depositan en vertedero sin ser sometidos a ningún proceso de valorización.
- El 22,99% de los materiales reciclables se someten a un proceso de incineración.
- A través de los procesos de valorización energética de los residuos no reciclables, así como del proceso de utilización como combustible del biogás generado en el antiguo vertedero y el obtenido en los procesos de biometanización, se producen aproximadamente 207.000 MWh de energía eléctrica, de los cuales un 23,3% se consume en el propio Parque y el 76,7% restante se exporta a la red.
- La tasa de recuperación de residuos actual en el Parque es aproximadamente del 30%, a pesar de que la Unión Europea exige que esta cifra sea del 60% en el año 2030. Esta tasa tan insuficiente se debe por una parte a que la separación de residuos por parte del consumidor es insuficiente, pero también porque la tecnología empleada actualmente no es adecuada para el alto nivel de residuos generados.

Actualmente, el Parque cuenta con **cuatro Centros de Tratamiento** para la gestión de los residuos que recibe:

- El **Centro La Paloma** se ocupa de la clasificación, el tratamiento y el compostaje, además de contar con una Planta de Biometanización.
- El **Centro Las Lomas** se encarga de los procesos de recuperación de materiales reciclables, compostaje y valorización de los residuos no aprovechables.
- En el **Centro Las Dehesas** se desarrollan tareas de separación y compostaje de los residuos y, al igual que La Paloma, cuenta con una Planta de Biometanización. Además, se encarga de la gestión del nuevo vertedero del Parque.
- Por último, el **Centro La Galiana** engloba el Parque Forestal, así como se encarga de la valorización energética del biogás producido en el antiguo vertedero de Valdemingómez.

Antes de explicar más en detalle cada una de las plantas con las que cuenta cada uno de los Centros del Parque, se muestra un esquema que esquematiza todas las plantas existentes a modo de resumen:

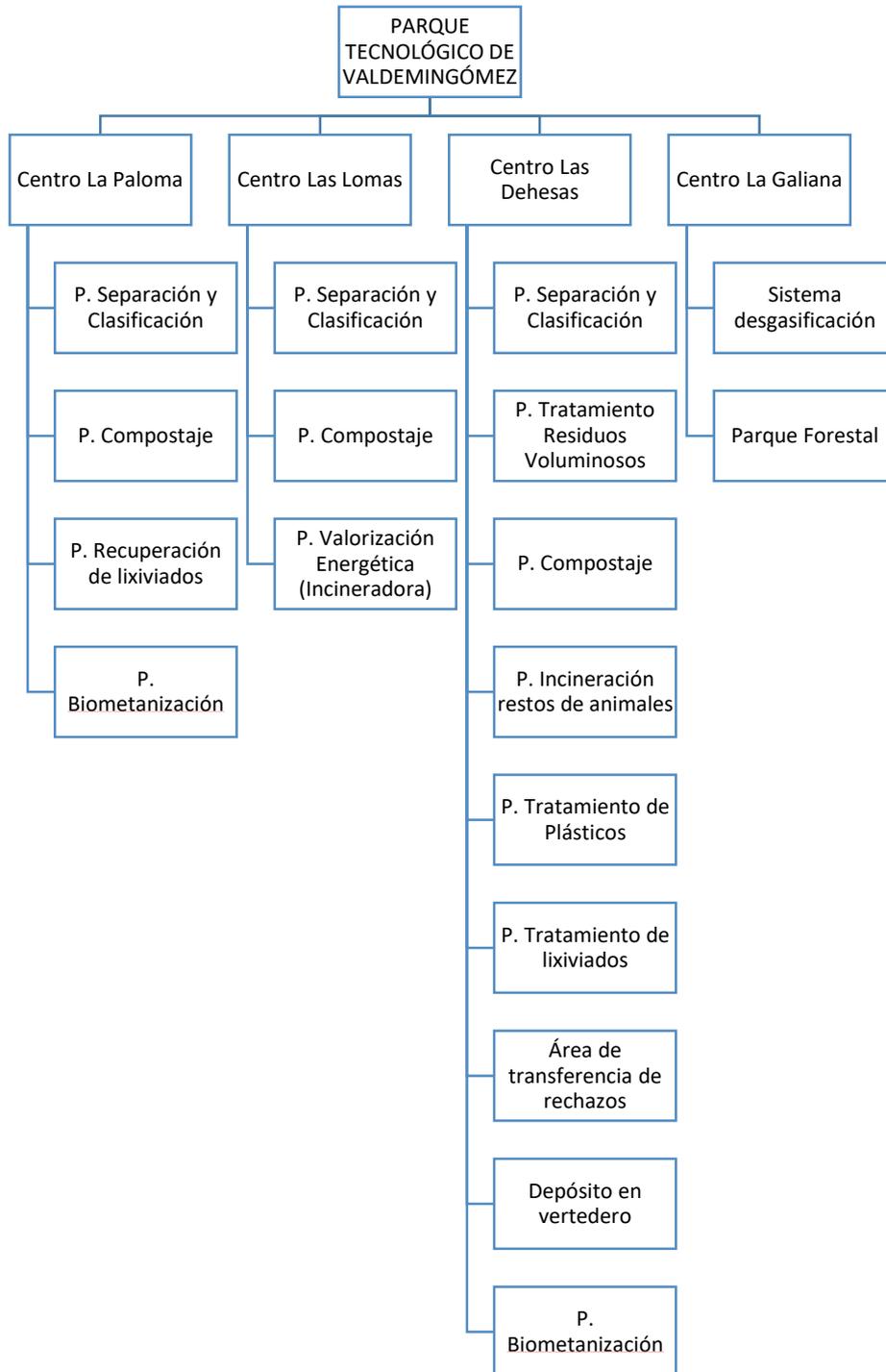


Figura 26. Esquema de las plantas que conforman el Parque Tecnológico de Valdemingómez [6]

---



---

### 2.8.1. Centro de Tratamiento La Paloma

---



---

Este Centro actúa a la vez como Planta de Separación y Clasificación, Planta de Compostaje y Planta de Recuperación de Lixiviados.

A él llegan los residuos procedentes del contenedor amarillo (envases) y del contenedor marrón (restos), y su función principal es recuperar los materiales reciclables presentes en estos residuos, así como separar y procesar la materia orgánica.

En la siguiente figura se muestran los diferentes procesos que se siguen en este Centro:



Figura 27. Esquema general del Centro de Tratamiento de La Paloma [63]

### 2.8.1.1. Planta de Separación y Clasificación de La Paloma

En cuanto a su función como Planta de Separación y Clasificación, al Centro de La Paloma únicamente llegan los residuos del cubo amarillo y los restos orgánicos del cubo marrón. De esta manera, el proceso que se sigue es el siguiente [63]:

- Se someten a un proceso de separación manual en cintas de triaje en el que operarios realizan una primera clasificación. En este proceso inicial, se descartarán aquellos elementos que no pertenezcan a su correspondiente bolsa: vidrio, papel y cartón, papel film y otros rechazos.

- Es importante destacar que los residuos del cubo amarillo y del cubo marrón siguen líneas independientes, a pesar de presentar el mismo proceso. Esto implica que la planta presente diferentes capacidades y rendimientos para cada fracción: se tratan 219.000 toneladas al año de residuos procedentes de la bolsa de restos y 36.500 toneladas al año de residuos procedentes de la bolsa amarilla.
- Una vez superado este triaje, los residuos pasan a un trómel con dos secciones diferentes que realiza una separación por tamaño.
- A continuación, se someten a un separador balístico que los clasifica según su forma. Durante este proceso, se produce también la aspiración de los plásticos de baja densidad, tales como bolsas o papel film.
- Después de este separador balístico, actúan unos separadores magnéticos que atrapan los residuos férricos. Estos metales magnéticos pasan directamente a una prensa que formará las balas que se entregan a las empresas recicladoras.
- Una vez los metales magnéticos han sido eliminados, los residuos atraviesan unos separadores ópticos con luz infrarroja que permiten separar los residuos de los siguientes materiales: PET, polietileno y polipropileno.
- Antes de depositarse en prensas para la formación de balas, los desechos atraviesan unos separadores denominados de Foucault que permiten separar los metales no férricos, tales como el aluminio, el latón o el bronce, del resto de materiales.

Este proceso puede verse con más claridad en el siguiente esquema:

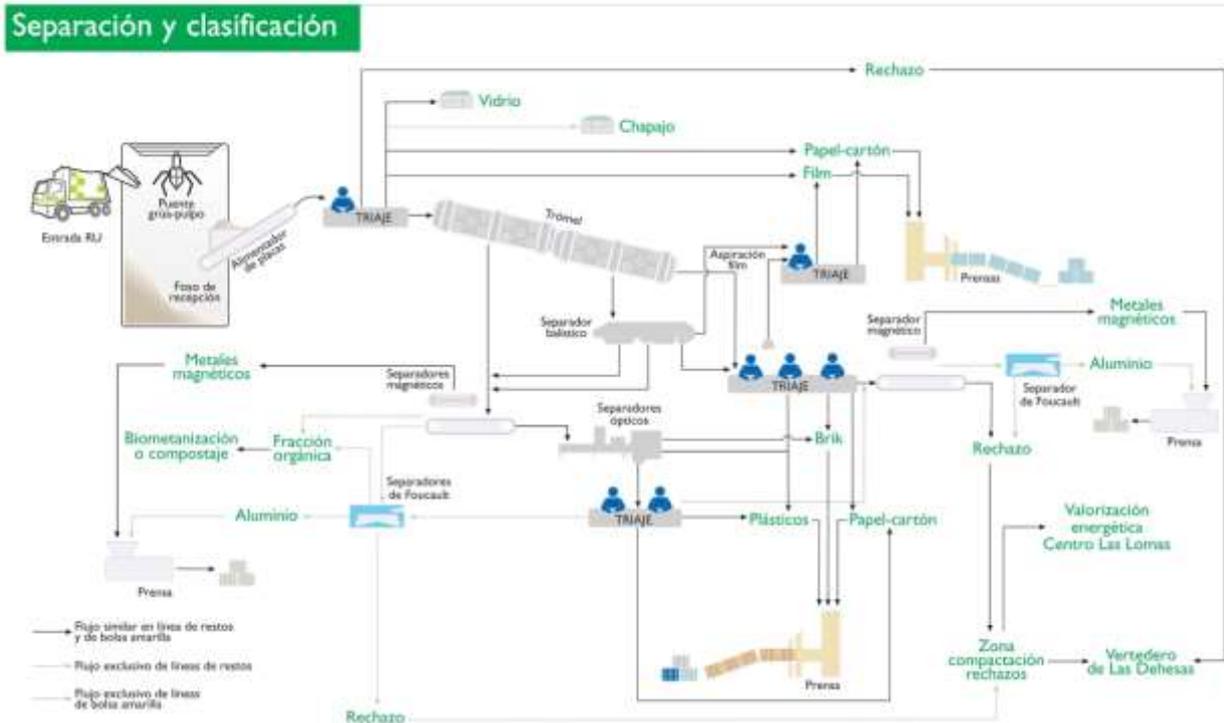


Figura 28. Proceso de separación y clasificación del Centro de Tratamiento de La Paloma [63]

### 2.8.1.2. Planta de Compostaje de La Paloma

En cuanto a Planta de Compostaje, el Centro de La Paloma gestiona el digesto procedente de la planta de biometanización, así como la fracción orgánica procedente de la planta de separación y clasificación.

Presenta 12 túneles de fermentación, otros 12 túneles de maduración y un sistema de desodorización y depuración de aire. Además, cuenta con varios sistemas que permiten eliminar las impurezas presentes en el afino resultante del proceso de compostaje: trómeles, mesas densimétricas y un ciclón para desempolvar [63].

En la siguiente imagen se muestra el proceso seguido:

## Producción y afino de compost

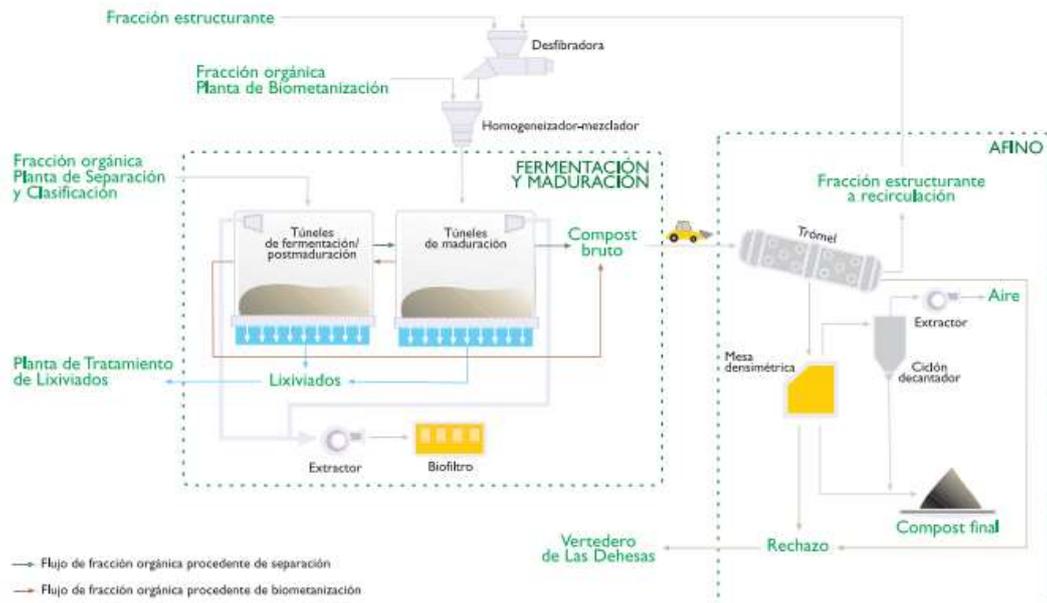


Figura 29. Proceso de compostaje del Centro de Tratamiento de La Palom [63]

### 2.8.1.3. Planta de Recuperación de Lixiviados de La Paloma

Como Planta de Recuperación de Lixiviados, La Paloma opera con 110 m<sup>3</sup>/día de lixiviados y otras aguas generadas en el Centro de La Paloma. Estos productos se tratan a través de procesos biológicos, con ultrafiltración y con ósmosis inversa<sup>9</sup>.

Una vez el agua ha sido depurada, se destina a limpieza y riego [63].

<sup>9</sup> La ósmosis inversa permite eliminar la salinidad del agua utilizando para ello una membrana semipermeable que permite retener las sales contenidas en el agua. Este proceso elimina entre el 96 y el 99% de los contaminantes presentes en el agua [89] [90].

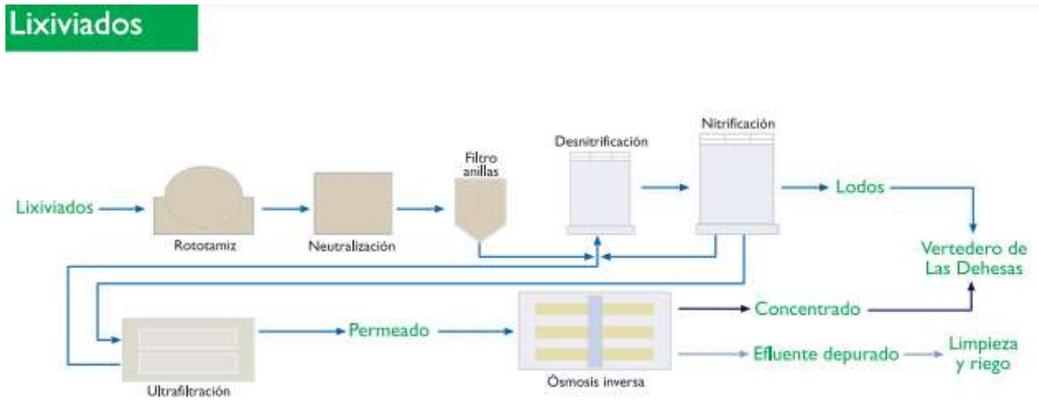


Figura 30. Proceso de recuperación de lixiviados del Centro de Tratamiento de La Paloma [63]

#### 2.8.1.4. Planta de Biometanización de la Paloma

A esta planta de biometanización llega la fracción orgánica procedente de la planta de separación y clasificación de los centros de La Paloma y Las Lomas. Como ya se ha explicado en el *Apartado* 2.3.2.1, es conveniente que la materia orgánica que experimente la digestión anaerobia llegue con el menor número de impurezas posible. Esto se consigue a través de un pretratamiento que es capaz de tratar 151.000 toneladas al año de materia orgánica mezclada con otros compuestos. En este pretratamiento, se somete la materia orgánica a un proceso de cribado con la ayuda de dos trómeles de diferente diámetro, así como a un sistema de separación de inertes que consta de cintas inclinadas, criba y separador balístico, separador magnético y molino triturador. Después de este proceso, se recuperan sobre todo metales férricos gracias a la acción del electroimán [6] [63].

Una vez finaliza este pretratamiento, se procede al proceso de biometanización, el cual presenta una capacidad de 108.175 toneladas de materia orgánica al año. Esta planta dispone de 4 digestores, varios sistemas de deshidratación para el digesto (prensas, tamices y centrifugadoras) y un gasómetro. Como en cualquier proceso de digestión anaerobia, los productos obtenidos son biogás, que se destinará a la planta de tratamiento de biogás de biometanización, y digesto. Este complejo de biometanización también presenta un sistema de desodorización, el cual se analizará con más detalle más adelante [63].

La siguiente figura muestra el esquema de funcionamiento de la planta de biometanización del centro de La Paloma:

## Biometanización

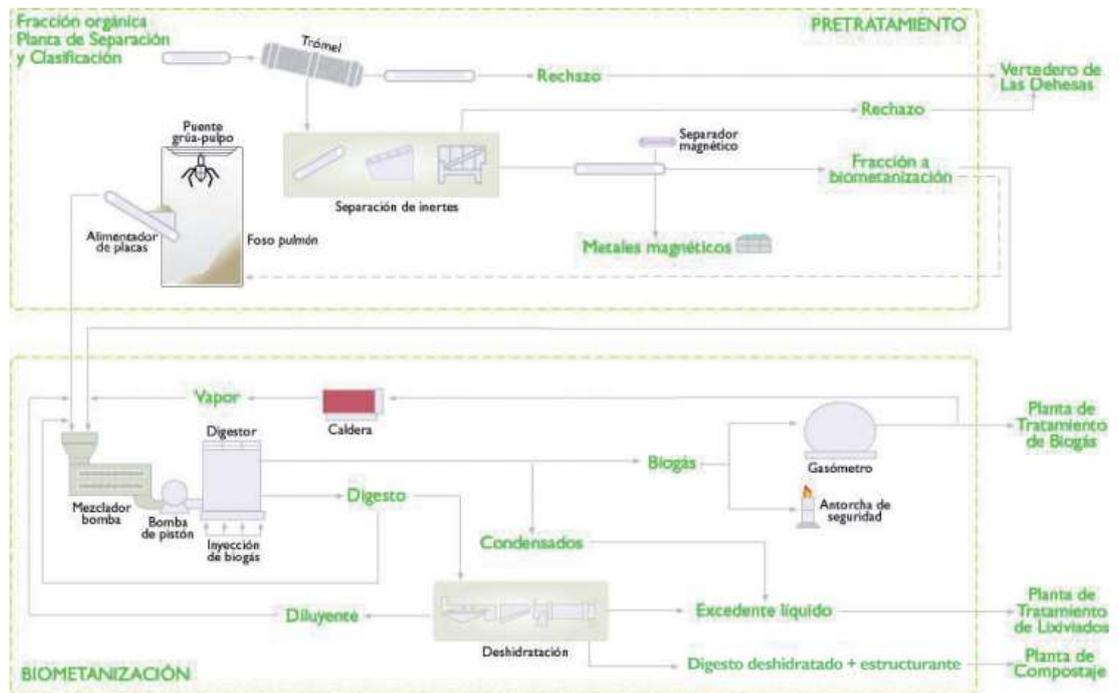


Figura 31. Proceso seguido en la Planta de Biometanización del Centro de Tratamiento de La Paloma [63]

### 2.8.2. Centro de Tratamiento Las Lomas

Como se ha indicado anteriormente, en este Centro se lleva a cabo la recuperación de materiales reciclables, el compostaje y el reciclaje energético.

A él solo llegan los residuos procedentes del contenedor marrón, es decir, restos orgánicos.

Los residuos que llegan a este Centro se someten primero a un cribado inicial tras el cual la fracción orgánica se envía a la planta de compostaje, donde se transforma en compost. El resto de los residuos se separan mecánica y manualmente para recuperar aquellos materiales que pueden ser reciclables. Por último, el rechazo obtenido de esta separación se mezcla con los rechazos procedentes de otros Centros, y se someten a un proceso de valorización que permite generar energía eléctrica a partir del calor desprendido en su combustión [63].

Las Lomas presenta el siguiente esquema general de funcionamiento:

## CENTRO LAS LOMAS. Sistemas de Tratamiento de Residuos



Figura 32. Esquema general del Centro de Tratamiento Las Lomas [63]

### 2.8.2.1. Planta de Separación y Clasificación de Las Lomas

Como Planta de Separación y Clasificación, Las Lomas procesa alrededor de 360.000 toneladas al año de residuos procedentes de la fracción orgánica. Esta planta presenta cuatro líneas de tratamiento con una capacidad unitaria de 25 toneladas a la hora. Después de este proceso de separación y clasificación, se recuperan materiales tales como vidrio, plásticos, papel, cartón, aluminio y otros materiales férricos [63].

La siguiente figura muestra el esquema de esta planta de Separación y Clasificación:

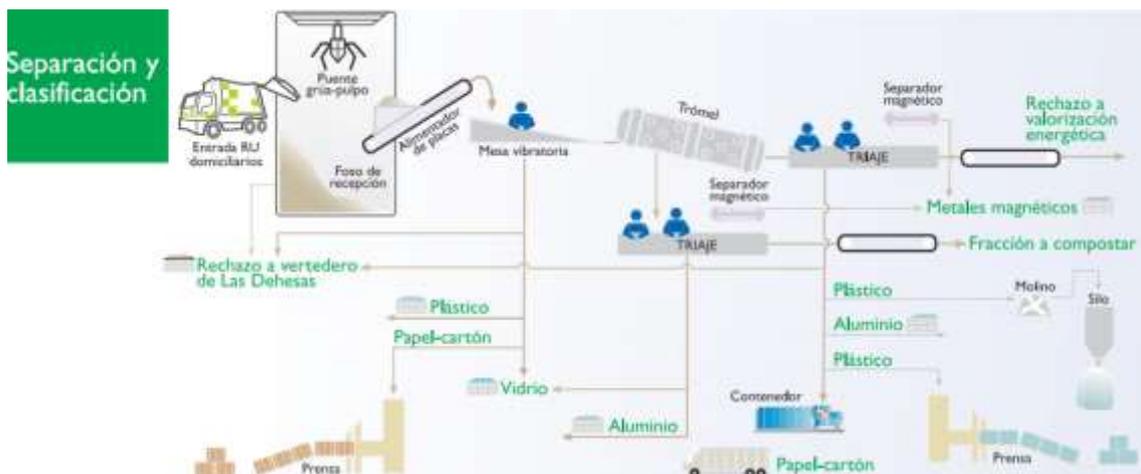


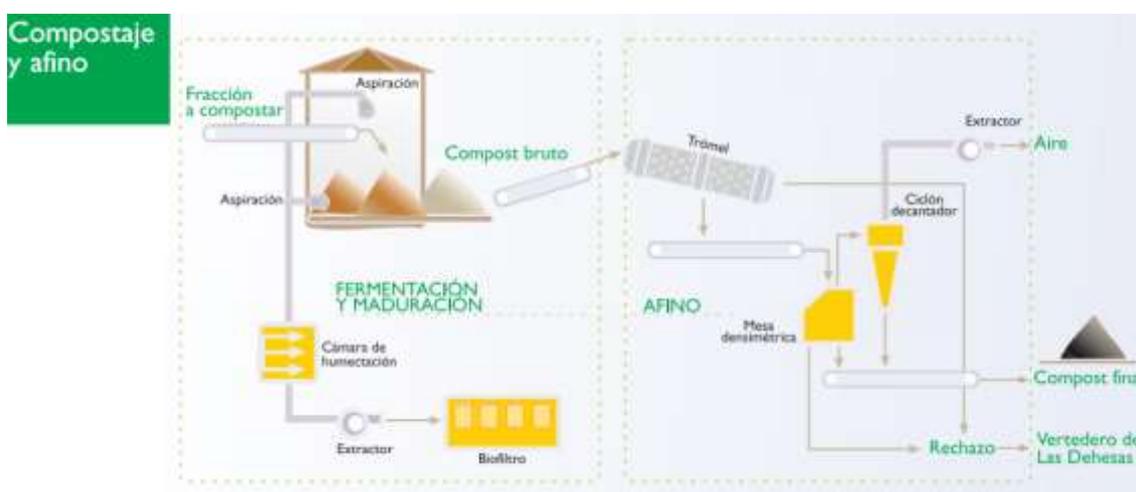
Figura 33. Proceso de separación y clasificación del Centro de Tratamiento de Las Lomas [63]

Como puede verse en la *Figura 33*, el mecanismo de separación y clasificación seguido en el Centro de Tratamiento de Las Lomas es similar al descrito con anterioridad para la planta del mismo tipo perteneciente al Centro de La Paloma.

### 2.8.2.2. Planta de Compostaje de Las Lomas

Como Planta de Compostaje, en este Centro se reciben 230.000 toneladas al año de materia orgánica ya separada procedente de la Planta de Separación y Clasificación del mismo centro, antes descrita. El proceso de compostaje se desarrolla en un parque de fermentación semi-abierto, seguido de un parque de maduración abierto. Por último, el afino obtenido se trata en un trómel. Finalmente, se obtiene el compost [63].

El siguiente esquema muestra este proceso de compostaje:



*Figura 34. Proceso de compostaje del Centro de Tratamiento de Las Lomas [63]*

### 2.8.2.3. Planta de Valorización Energética de Las Lomas

En el Centro de Tratamiento de Las Lomas, se lleva a cabo un proceso de valorización energética a través de un proceso de incineración. Esta valorización se realiza a partir de los rechazos procedentes del resto de Centros del Parque, y como resultado se generan como máximo 29 MWh eléctricos, que equivale al 3% del consumo eléctrico en Madrid, los cuales son utilizados en el propio Parque como auto abastecimiento [6].

Los gases emitidos son medidos diariamente, semanalmente y aleatoriamente cada cierto tiempo, y estas medidas reflejan unas emisiones cinco veces por debajo de lo estipulado por Ley.

Las cenizas y escorias producidas en la chimenea son recogidas y trasladadas al vertedero del Parque.

Todos estos sistemas mencionados hacen que la generación de olores en el Parque no tenga su principal foco en la incineradora, sino en otros puntos, tales como los procesos de compostaje o la acumulación de materia orgánica antes del reactor de biometanización debido a un mal dimensionamiento del mismo.

---

---

### 2.8.3. Centro de Tratamiento Las Dehesas

---

---

Este Centro es el que mayor volumen de residuos recibe, más de la mitad del total de los que recibe el Parque. Debido a este elevado volumen, el Centro presenta varias actividades y plantas de tratamiento [63]:

- Planta de separación y clasificación.
- Área de tratamiento de residuos voluminosos.
- Planta de compostaje.
- Pequeña incineradora de animales muertos.
- Planta de tratamiento de plásticos, en el que se realizan labores de granceado<sup>10</sup> y extrusión de PEAD <sup>11</sup>.
- Planta de tratamiento de lixiviados.
- Área de transferencia de rechazos de los diferentes procesos que se llevan a cabo en el Parque. Estos rechazos se depositan de manera controlada en el vertedero con el que cuenta este Centro.
- Depósito controlado en vertedero de rechazos, como se ha comentado en el punto anterior, y otros residuos no aprovechables.
- Complejo de biometanización.
- Planta de tratamiento de biogás.

**Es importante destacar que el Centro de Tratamiento de Las Dehesas es el mayor foco de generación de olores en el Parque, sobre todo por el infra dimensionamiento de sus**

---

<sup>10</sup> El granceado es un proceso de reciclaje de plástico similar a la extrusión, en el que, a partir del plástico reciclado, se obtienen filamentos o hilos.

<sup>11</sup> PEAD: Polietileno de Alta Densidad. Siglas en inglés: HDPE (High Density Polyethylene)

**instalaciones.** Debido al aumento en la generación de residuos durante los últimos años, estas instalaciones resultan insuficientes para gestionarlos.

La siguiente figura muestra todos los procesos que se llevan a cabo en este Centro, así como su relación entre ellos. No obstante, a continuación, se explicará con más detalle las actividades que se desarrollan en cada planta:

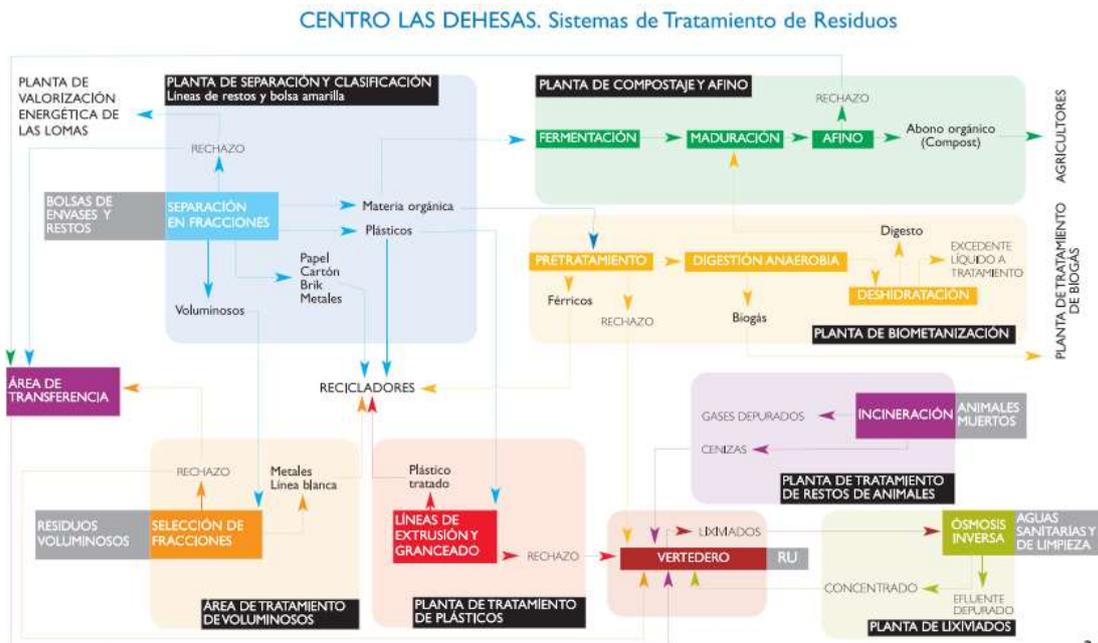


Figura 35. Procesos seguidos en el Centro de Tratamiento de Las Dehesas [63]

### 2.8.3.1. Planta de Separación y Clasificación de Las Dehesas

A esta planta llegan tanto los residuos procedentes de la fracción resto del cubo gris como los procedentes del cubo amarillo, por lo que habrá dos líneas diferenciadas de tratamiento.

Por una parte, la parte de la planta encargada de la fracción resto es capaz de gestionar 475.000 toneladas al año de residuos urbanos del cubo gris a través de cuatro líneas de tratamiento con una capacidad unitaria de 55 toneladas a la hora, mientras que la parte encargada del cubo amarillo tiene una capacidad de 90.000 toneladas al año, las cuales son gestionadas a través de dos líneas de tratamiento con una capacidad unitaria de 9 toneladas a la hora.

La siguiente figura muestra el proceso seguido en esta planta:

## Tratamiento de restos y bolsa amarilla

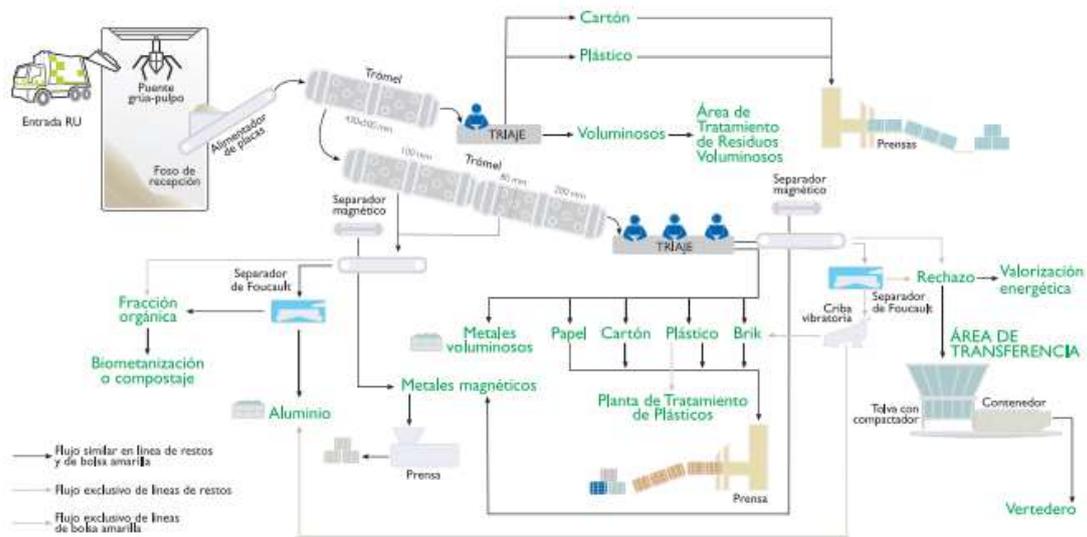


Figura 36. Proceso seguido en la planta de separación y clasificación del Centro de Tratamiento de Las Dehesas [63]

Como puede verse en la Figura 36. Proceso seguido en la planta de separación y clasificación del Centro de Tratamiento de Las Dehesas, primero los residuos atraviesan un trómel para descartar los residuos voluminosos. Después, otro trómel y un triaje permiten clasificar de manera aún más minuciosa los residuos [63].

Tras este proceso, los materiales que se recuperan son:

- Papel, cartón, plásticos, metales de gran tamaño y bricks.
- Aluminio.
- Metales férricos, gracias a la acción del separador magnético.

### 2.8.3.2. Área de tratamiento de residuos voluminosos de Las Dehesas

A esta planta llegarán aquellos residuos voluminosos con un tamaño igual o inferior a los 2.500 m<sup>3</sup> procedentes tanto de la planta de separación y clasificación descrita en el Apartado 2.8.3.1, así como de las recogidas municipales destinadas específicamente a estos residuos.

El proceso de tratamiento de estos residuos se muestra en la siguiente figura:

## Tratamiento de residuos voluminosos



Figura 37. Proceso seguido en el Área de Tratamiento de residuos voluminosos del Centro de Tratamiento de Las Dehesas [63]

Como se muestra en la figura anterior, una vez llegan estos residuos, se hace una primera diferenciación entre electrodomésticos convertidos en residuos que puedan ser reciclados y aquellos que no puedan recuperarse, los cuales se destinarán al vertedero.

El resto de residuos pasan a un molino triturador, después del cual se someten a un triaje gracias al cual se pueden recuperar metales magnéticos a través de la acción magnético, así como otros metales voluminosos. Los residuos que no hayan podido ser recuperados en este triaje se tratarán como rechazos y se enviarán a vertedero.

Además, esta área posee un sistema que permite extraer los gases refrigerantes de los electrodomésticos que le llegan [63].

### 2.8.3.3. Planta de compostaje de Las Dehesas

Esta planta de compostaje, a la cual llega la fracción orgánica procedente tanto de la planta de separación descrita en el *Apartado 2.8.3.1* como de la **planta de biometanización de este mismo centro, la cual es objeto de este Trabajo y se analizará más detalladamente en el Capítulo 3**, presenta 22 túneles de fermentación y otros 22 túneles de maduración, así como un proceso de pretratamiento para eliminar las impurezas [63].

La siguiente figura muestra el proceso que se sigue en esta planta:

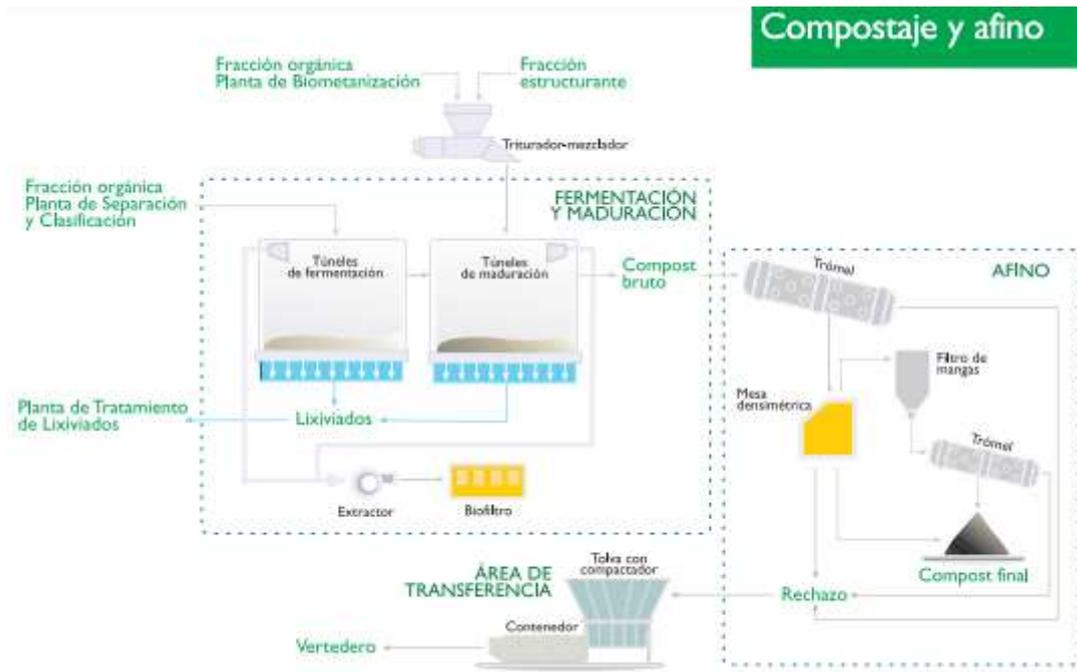


Figura 38. Proceso seguido en la planta de compostaje y afino del Centro de Tratamiento de Las Dehesas [63]

#### 2.8.3.4. Planta de incineración de restos de animales de Las Dehesas

El Centro de Tratamiento de Las Dehesas presenta una pequeña incineradora con una capacidad media de operación de 500 kg a la hora y una potencia instalada de 79 kW que permite la incineración de animales muertos recogidos por servicios municipales especiales de limpieza. El horno de esta incineradora posee cinco quemadores de gasóleo, así como una cámara de post-combustión [63].

#### 2.8.3.5. Planta de tratamiento de plásticos de Las Dehesas

A esta planta llegan los plásticos que han podido ser recuperados de la planta de separación del Centro, descrita en el *Apartado 2.8.3.1*. Presenta dos líneas de tratamiento, cuyo esquema puede verse en la *Figura 39*:

- Por una parte, la línea de **granceado**, que trata los plásticos tipo PET<sup>12</sup> con una capacidad media de 500 kg a la hora.
- Por otra parte, la línea de **extrusión**, que trata los plásticos tipo PEAD, PEBD<sup>13</sup> y PP<sup>14</sup>.

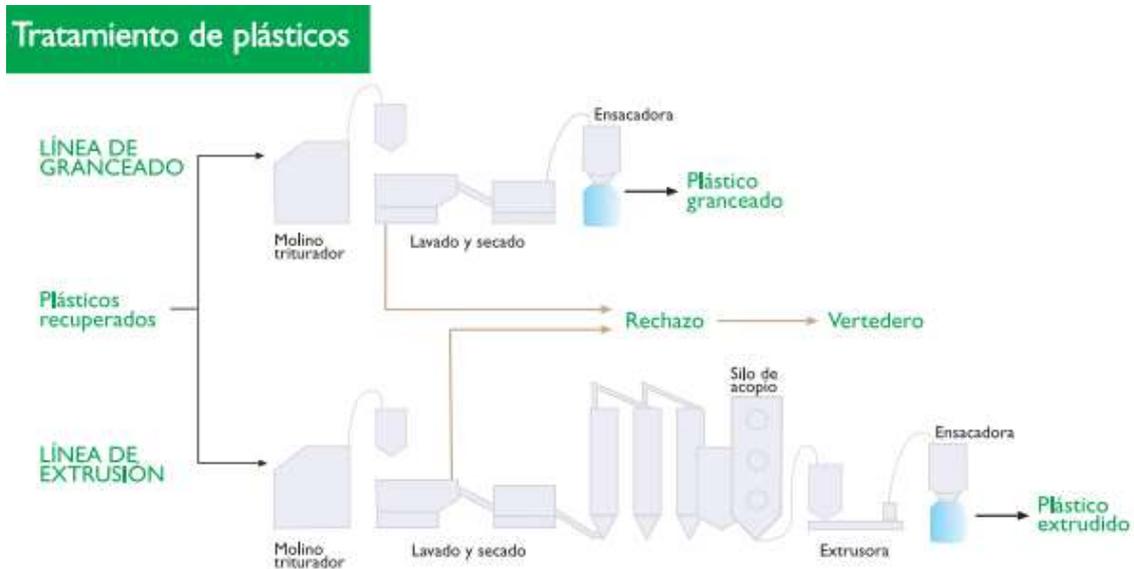


Figura 39. Proceso seguido en la planta de tratamiento de plásticos del Centro de Tratamiento de Las Dehesas [63]

### 2.8.3.6. Planta de tratamiento de lixiviados de Las Dehesas

A esta planta llegan tanto los lixiviados generados en el propio vertedero, así como las aguas sanitarias y de limpieza del Centro de Las Dehesas.

El agua depurada obtenida se emplea en sistemas de limpieza viaria, así como en el riego de las zonas ajardinadas de Las Dehesas [63].

La siguiente figura muestra el proceso seguido en esta planta:

<sup>12</sup> PET: Polietileno Tereftalato

<sup>13</sup> PEBD: Polietileno de Baja Densidad

<sup>14</sup> PP: Propileno

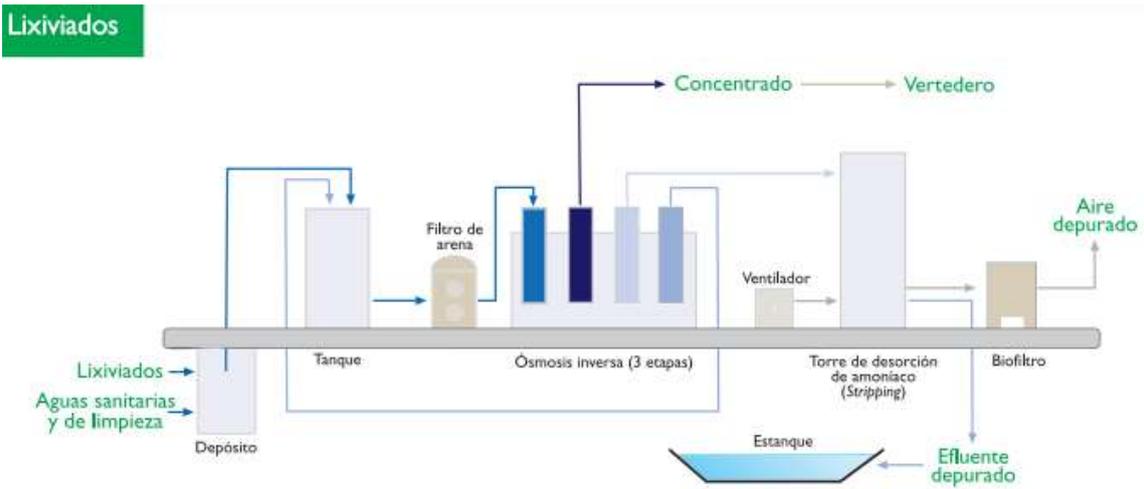


Figura 40. Proceso seguido en la planta de tratamiento de lixiviados del Centro de Tratamiento de Las Dehesas [63]

Las tres etapas en las que consiste este proceso de ósmosis inversa que puede verse en la Figura son las siguientes [64]:

1. **Primera etapa: filtros de sedimento.** Se eliminan las partículas más voluminosas, normalmente con un diámetro superior a los 5  $\mu\text{m}$ , tales como partículas en suspensión, barros, fangos o arenas.
2. **Segunda etapa: filtros de carbón activo.** Estos filtros permiten eliminar el cloro, los malos olores y el mal sabor del agua tratada.
3. **Tercera etapa: membrana de ósmosis inversa.**

### 2.8.3.7. Área de transferencia de rechazos de procesos de Las Dehesas

Antes de que los rechazos lleguen a su destino final, el vertedero, se someten a un proceso de compactación en esta planta, que presenta tres compactadores con una capacidad de 86 toneladas a la hora.

Los rechazos que se tratan en esta planta provienen de la planta de separación y clasificación descrita en el *Apartado 2.8.3.1*, de la planta de tratamiento de residuos voluminosos, descrita en el *Apartado 2.8.3.2*, así como el afino obtenido en el complejo de biometanización [63].

### 2.8.3.8. Depósito controlado en el vertedero de Las Dehesas

Los rechazos obtenidos en los Centros de Tratamiento de Las Lomas, Las Dehesas y La Paloma, así como todos los residuos que no puedan ser aprovechables, se depositan en el vertedero

existente en Las Dehesas, que presenta una superficie de 82,5 hectáreas y una capacidad de 22,7 millones de m<sup>3</sup>.

Como parte de la operación de este vertedero, se incluye un sistema de extracción de biogás, un sistema de drenaje y evacuación de lixiviados, y un sistema de explotación en el que se llevan a cabo las tareas de depósito de los residuos y rechazos antes mencionados, su extendido y reparto por toda el área útil del vertedero y el cubrimiento diario [63].

La siguiente figura muestra el esquema del vertedero:



Figura 41. Esquema del vertedero del Centro de Tratamiento de Las Dehesas [63]

### 2.8.3.9. Planta de biometanización de Las Dehesas

Como se explicará más adelante en el *Capítulo 3*, esta planta será objeto de un análisis más detallado, ya que se estudiará más exhaustivamente su actual sistema de desodorización con el objetivo de mejorarlo y reducir la generación de malos olores.

Por ello, los procesos que se siguen en este complejo, se describen en el *Apartado 3.1*.

### 2.8.4. Centro de Tratamiento La Galiana

Las funciones de este Centro difieren de las actividades desarrolladas en el resto de los Centros. En él, se aprovecha energéticamente el biogás emitido por el antiguo vertedero del Parque, el cual

se mantuvo activo hasta el año 2000, y se realizan tareas de conservación del Parque Forestal que se encuentra sobre dicho vertedero.

Para poder realizar esta tarea de desgasificación en el antiguo vertedero, fue necesaria la instalación de un sistema de extracción de biogás, así como una planta de valorización energética que permite la creación de energía a partir de dicho biogás [63].

#### 2.8.4.1. Sistema de desgasificación de La Galiana

Con este sistema se pretende extraer el biogás del antiguo vertedero para poder aprovecharlo energéticamente.

Este sistema de extracción presenta los siguientes elementos [63]:

- 280 pozos de captación de biogás.
- 10 estaciones de regulación y medida (ERM).
- 2 centrales de extracción secundaria (CES).

El sistema de extracción de biogás es el siguiente:



Figura 42. Sistema de extracción de biogás en el Centro de Tratamiento La Galiana [63]

---

#### **2.8.4.2. Parque Forestal de Valdemingómez**

---

Sobre el antiguo vertedero del Parque de Valdemingómez, el cual fue clausurado en el año 2000, se llevó a cabo un proyecto de recuperación paisajística de 110 hectáreas.

---

---

#### **2.8.5. Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales en el entorno del Parque**

---

---

Alrededor del Parque Tecnológico de Valdemingómez existen varias estaciones depuradoras (EDAR) que colaboran también en la generación de malos olores.

Dado que estas estaciones no se encuentran dentro del Parque, no son objeto de estudio en este Trabajo.



---

---

## **2.9. PROBLEMÁTICA DE OLORES EN EL PARQUE TECNOLÓGICO DE VALDEMINGÓMEZ**

---

---

Para poder ofrecer una solución óptima al problema de generación de olores en el Parque, es necesario primero analizar cuáles son los principales focos de emisión.

Para este análisis, se ha recurrido al **Informe Odorífero realizado por la empresa Odournet S.L.** [40] en el Parque y sus alrededores. En este Informe se caracterizan y estiman las emisiones de olores en el Parque, así como se discuten los resultados obtenidos en base al Estudio. Este Informe será clave en este Trabajo.

---

---

### **2.9.1. Principales focos de malos olores en el Parque**

---

---

En la realización de este Informe Odorífero [40] que se acaba de mencionar, se tomaron diferentes muestras de varios puntos del Parque, y con ello se determinaron los focos más conflictivos en la generación de olores.

También se tomaron muestras de las EDAR situadas en los alrededores del Parque. Sin embargo, estos puntos no se analizarán, por no considerarse objeto de este Trabajo.

Los puntos en los que se tomaron las diferentes muestras fueron los siguientes:

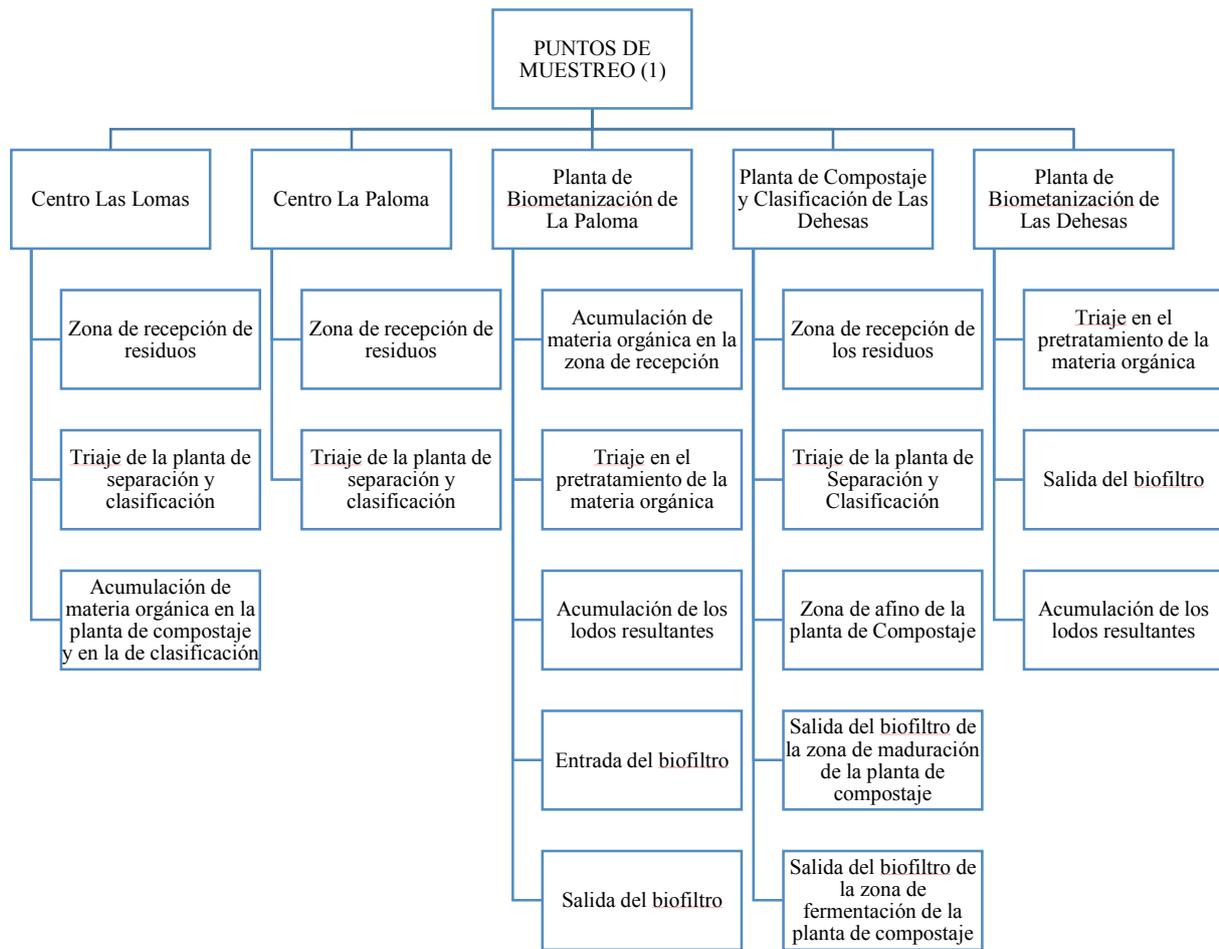


Figura 43. Puntos de muestreo en el Parque para el análisis de malos olores. Parte 1 [6] [40]

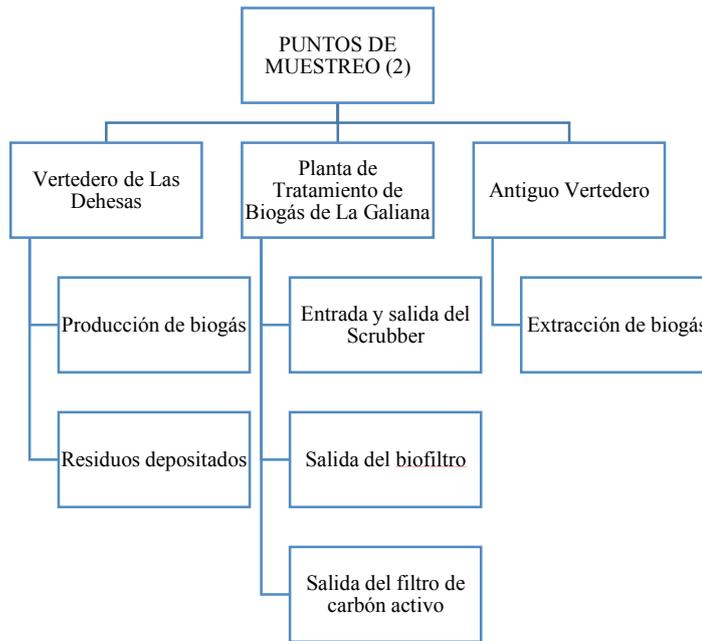


Figura 44. Puntos de muestreo en el Parque para el análisis de malos olores. Parte 2 [6] [40]

Después del análisis de todos estos puntos de muestreo, se determinó que los principales focos de generación de olores en el Parque son los siguientes:

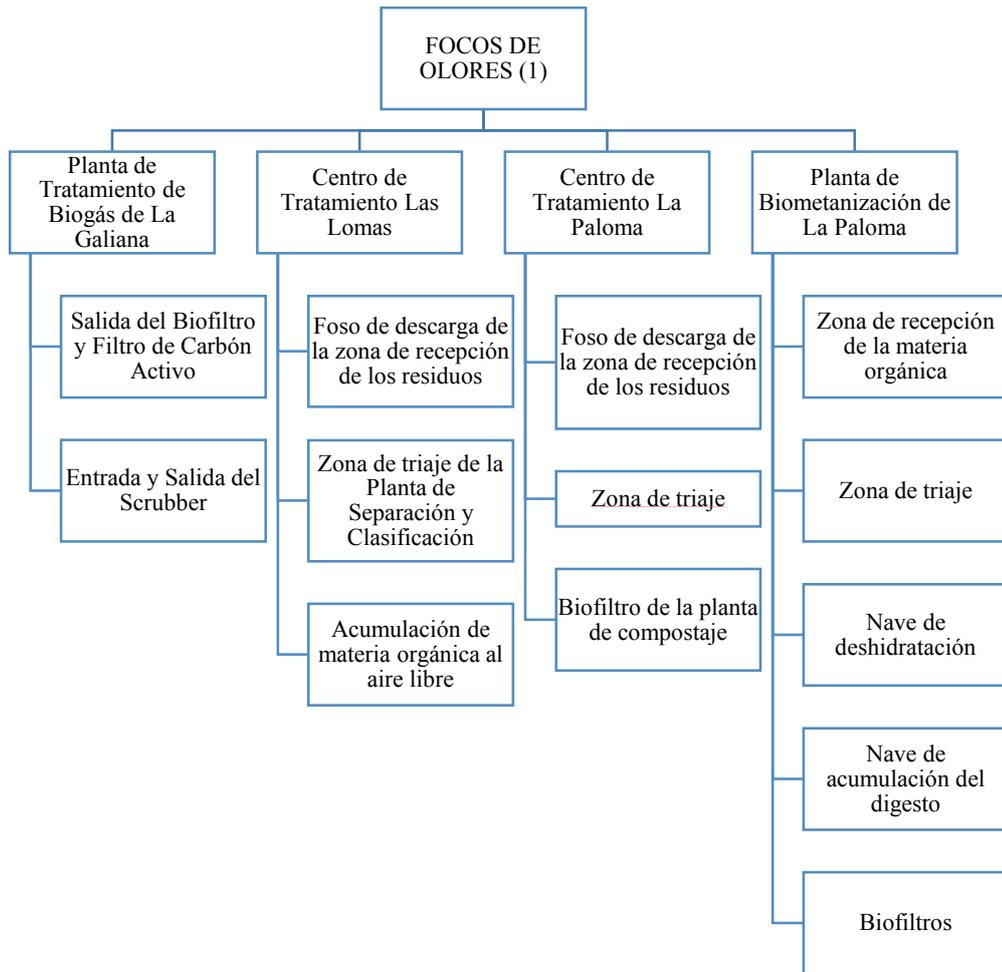


Figura 45. Focos de generación de malos olores en el Parque. Parte 1 [6] [40]

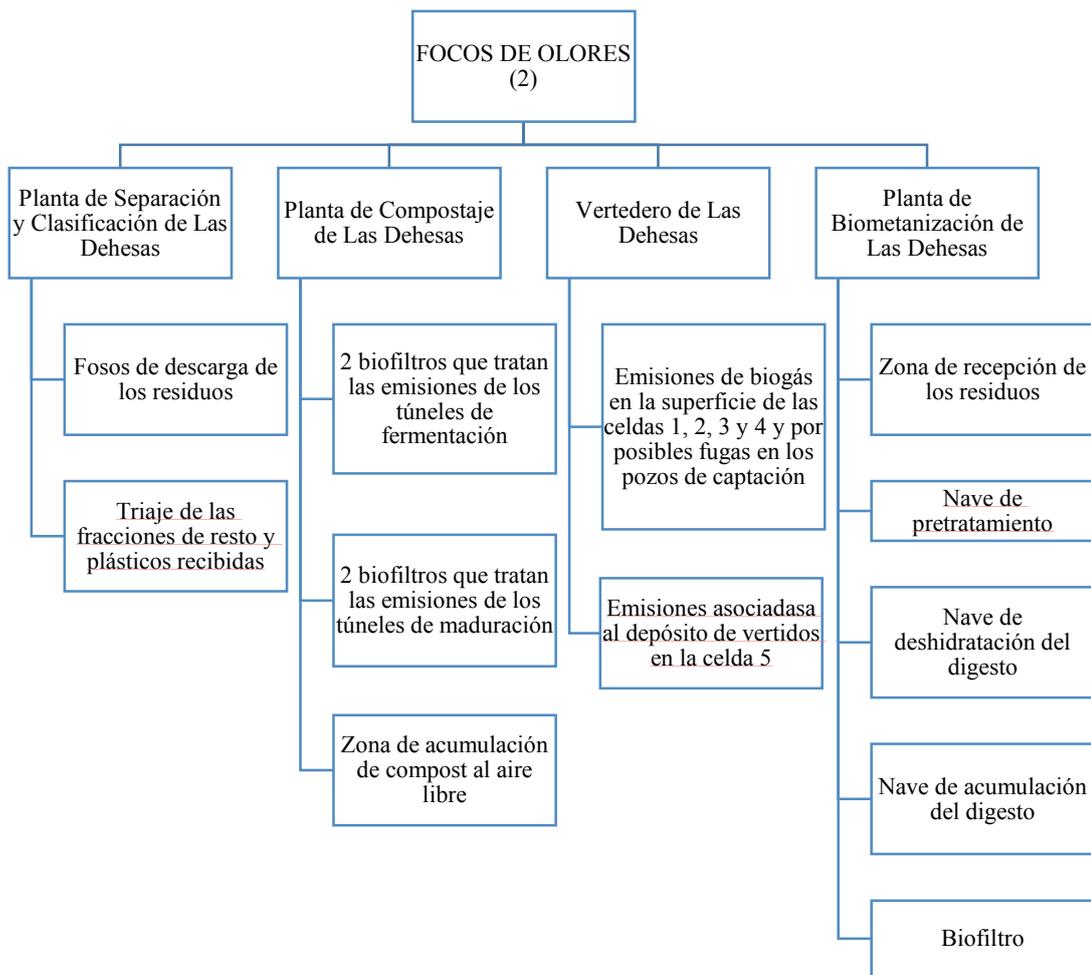


Figura 46. Focos de generación de malos olores en el Parque. Parte 2 [6] [40]

**Se comprueba que el Centro que presenta una mayor problemática en la generación de olores es Las Dehesas.**

---



---

### 2.9.2. Emisiones detectadas en el Parque

---



---

En este Informe llevado a cabo por la empresa Odournet [40], las emisiones puntuales de cada foco de generación de olores se han calculado teniendo en cuenta:

- Concentraciones de olor unitarias ( $uo_E/m^3$ )<sup>15</sup> obtenidas en las muestras tomadas en cada uno de los focos problemáticos.
- Área expuesta al ambiente ( $m^2$ ) de cada uno de los focos considerados.
- Caudales de aire implicados en los focos ( $m^3/h$ ).
- Horas a lo largo del año que los focos considerados están en funcionamiento.
- Factor de multiplicación, que dependerá de la naturaleza turbulenta de cada foco.

Todas las emisiones que se van a explicar a continuación se emiten a la atmósfera durante las 24 horas diarias los 365 días del año.

A continuación, se indican las tasas de emisión de cada una de las Plantas que conforman el Parque Tecnológico de Valdemingómez, a partir del Informe Olorífero de la empresa Odournet [40].

---

### 2.9.2.1. Emisiones en la Planta de Tratamiento de Biogás

---

- **Biofiltro y Filtro de Carbón Activo**

Este foco presenta una concentración de olor unitaria de  $2.580.232\ uo_E/m^3$ , y especificaciones técnicas de esta planta establecen un caudal máximo de aire de  $4000\ m^3/h$ . Con estos parámetros, se obtienen unas emisiones de  **$2.866.924\ uo_E/s$** <sup>16</sup> a través de una chimenea de 7 m de altura y 0,4 m de diámetro.

- **Entrada y Salida del scrubber**

Las emisiones de este foco resultan aún más preocupantes. Las concentraciones de olores a la entrada (que presenta una alta concentración en dióxido de carbono y ácido sulfhídrico) y la salida del scrubber son respectivamente  $7.346.808\ uo_E/m^3$  y  $3.835.666\ uo_E/m^3$ , y el caudal medio de aire es de  $6.780\ m^3/h$ , lo que hace que a la salida del scrubber se obtengan unas emisiones de  **$7.223.838\ uo_E/s$** . Estas emisiones tan elevadas se deben a la baja eficiencia del scrubber, explicada anteriormente en el *Apartado 2.7.2.1* y hacen que la unidad de biofiltración cerrada y el carbón activo no puedan eliminar los malos olores de manera óptima.

---

<sup>15</sup> [ $uo_E/m^3$ ]: unidades de olor emitidas por metro cúbico.

<sup>16</sup> [ $uo_E/s$ ]: unidades de olor emitidas por segundo.

---

### 2.9.2.2. Emisiones en el Centro de Tratamiento Las Lomas

---

- **Fosos de descarga de residuos**

La generación de malos olores en esta zona se debe principalmente a que las puertas de los fosos se encuentran normalmente abiertas.

La concentración de olor recogida en las muestras tomadas es de  $3.158 \text{ uo}_E/\text{m}^3$ . Teniendo en cuenta que el caudal de aire fugado a través de estas puertas es de  $50.400 \text{ m}^3/\text{h}$ , se obtiene una tasa de emisión de  **$44.212 \text{ uo}_E/\text{m}^3$** .

Debido a esta tasa tan elevada, el sistema de aspiración de aire con el que cuenta esta zona resulta claramente insuficiente.

- **Zona de triaje de la Planta de Separación y Clasificación**

En este caso ocurre lo mismo que en el anterior. La nave en la que se produce este proceso de triaje no está completamente sellada, por lo que, y a pesar de la existencia del sistema de ventilación forzada con el que se cuenta, se producen fugas de olores al exterior.

En el Estudio se ha estimado que el caudal de aire fugado es de  $8.624 \text{ m}^3/\text{h}$ , lo que, teniendo en cuenta una concentración de olor medida de  $2.869 \text{ uo}_E/\text{m}^3$ , se traduce en una tasa de emisión de olor de  **$6.873 \text{ uo}_E/\text{s}$** .

- **Acumulación de materia orgánica al aire libre**

Para esta estimación, se ha considerado que la superficie en la que se acumula la materia orgánica es de unos  $2.000 \text{ m}^2$  y el coeficiente de emisión superficial es de  $23 \text{ uo}_E/\text{m}^2\text{s}$ , con lo que se obtiene una tasa de emisión de  **$16.000 \text{ uo}_E/\text{s}$** .

---

### 2.9.2.3. Emisiones en el Centro de Tratamiento La Paloma

---

- **Fosos de descarga de residuos, zona de triaje y biofiltro de la planta de compostaje**

En el caso de los fosos de descarga de residuos y la nave en la que se lleva a cabo el triaje, ocurren dos problemas. Por una parte, que las naves no son estancas, y por otra, que la canalización del sistema de extracción está rota.

En cuanto a los fosos de recepción, se estima que el caudal de fuga es de 221.760 m<sup>3</sup>/h y la concentración de olor tomada en las medidas de 431 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, lo que hace que la tasa de emisión sea de **26.550 uo<sub>E</sub>/s.**

Por otra parte, el caudal de fuga en la nave de triaje es de 277.200 m<sup>3</sup>/h, y la concentración de olor resultante de las medidas tomadas es de 912 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, resultando la tasa de emisión en **70.224 uo<sub>E</sub>/s.**

- **Biofiltro de la planta de compostaje**

Según las medidas tomadas, la concentración de olor en este biofiltro es de 1.000 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> y el caudal de extracción de 70.000 m<sup>3</sup>/h, con lo que la tasa de emisión es de **19.444 uo<sub>E</sub>/s.**

---

#### **2.9.2.4. Emisiones en la Planta de Biometanización de La Paloma**

---

- **Fosos de recepción de la materia orgánica**

El sistema de extracción resulta insuficiente debido a la falta de estanqueidad del edificio, por lo que se estima que las fugas que se producen en este caso son de 7.740 m<sup>3</sup>/h. A partir de una concentración de olor medida de 645 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, se obtiene una tasa de emisión de **1.387 uo<sub>E</sub>/s.**

- **Zona de triaje**

Al igual que en el caso anterior, se producen fugas en la nave debido a su falta de estanqueidad. Se estima que el caudal que se fuga es de 28.665 m<sup>3</sup>/h. Teniendo en cuenta que la concentración de olor en esta zona es de 1.290 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, la tasa de emisión es de **10.272 uo<sub>E</sub>/s.**

- **Nave de deshidratación**

Esta nave presenta el mismo problema de fugas que los dos sistemas anteriores. En este caso, el caudal de fugas es de 27.540 m<sup>3</sup>/h, la concentración de olor de 4.096 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> y la tasa de emisión resultante, **31.334 uo<sub>E</sub>/s.**

- **Nave de acumulación del digesto**

Para el cálculo de esta tasa de emisión, se establece que la superficie en la que se acumula el digesto es de 100 m<sup>2</sup> y el coeficiente de emisión superficial de 186,85 uo<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>s, obteniendo un resultado de **18.685 uo<sub>E</sub>/s.**

- **Biofiltro**

Las concentraciones a la salida y a la entrada del sistema de desodorización utilizado en la planta de biometanización son  $4.871 \text{ uo}_E/\text{m}^3$  y  $3.251 \text{ uo}_E/\text{m}^3$  respectivamente, y el caudal máximo tratado es de  $84.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Teniendo en cuenta el bajo rendimiento del sistema, la tasa de emisión resultante es de **75.857 uo<sub>E</sub>/s**.

---

#### **2.9.2.5. Emisiones en la Planta de Separación y Clasificación de Las Dehesas**

---

- **Fosos de recepción de los residuos**

Las puertas de estos fosos se están continuamente abriendo para la recepción de los residuos, por lo que el sistema de aspiración resulta insuficiente y, consecuentemente, se producen fugas.

En este caso hay que tener en cuenta dos puntos de fuga: por una parte, una chimenea de 21 m de altura y 1,1 m de diámetro, y por otra, las fugas propiamente dichas a través de las puertas abiertas de los fosos. En el primer caso, la concentración de olor medida es de  $683 \text{ uo}_E/\text{m}^3$  y el caudal de aspiración de  $85.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , con lo que la tasa de emisión a través de la chimenea mencionada es de  $16.126 \text{ uo}_E/\text{s}$ . En el segundo punto, se estima que el caudal de fuga es de  $67.851 \text{ m}^3/\text{h}$  y la concentración de olor es la misma que en punto anterior, por lo que la tasa de emisión en este caso es de  $12.873 \text{ uo}_E/\text{s}$ .

En total, en estos fosos de recepción se tiene una tasa de emisión de **28.999 uo<sub>E</sub>/s**.

- **Zona de triaje**

Esta nave se ventila de manera natural, por lo que, para estimar la tasa de emisión, se ha considerado un caudal de emisiones de  $356.400 \text{ m}^3/\text{h}$  con una concentración de olor de  $456 \text{ uo}_E/\text{m}^3$ , con lo que se obtiene una tasa de emisión de **45.144 uo<sub>E</sub>/s**.

---

#### **2.9.2.6. Emisiones en la Planta de Compostaje de Las Dehesas**

---

- **Nave central de compostaje**

En este caso, también se pone de manifiesto el problema de la estanqueidad. Se ha estimado que el caudal de fuga en esta nave es de  $24.800 \text{ m}^3/\text{h}$ . Teniendo en cuenta que la concentración de olor medida es de  $9.742 \text{ uo}_E/\text{m}^3$ , la tasa de emisión que se obtiene es de **67.112 uo<sub>E</sub>/s**.

- **Acumulación de compost al aire libre**

La superficie sobre la que se deposita este compost es de  $5.000 \text{ m}^2$ , y el coeficiente de emisión superficial se fija en  $20 \text{ uo}_E/\text{m}^2\text{s}$ , por lo que la tasa de emisión obtenida es de **100.000 uo<sub>E</sub>/s**.

- **Nave de afino**

El caudal de aspiración permite absorber un caudal de 35.000 m<sup>3</sup>/h con una concentración de olor de 5.468 u<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, con lo que la tasa de emisión en este caso resulta de **53.161 u<sub>E</sub>/s**.

- **Biofiltros**

Estos biofiltros están colocados en los túneles de fermentación y maduración, y se analiza la tasa de emisión a la salida de ambos, que presentan un caudal máximo tratable de 60.000 m<sup>3</sup>/h.

En el caso del primero, la concentración de olor es de 1.367 u<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, por lo que la tasa de emisión es de **45.567 u<sub>E</sub>/s**. En el caso de la maduración, la concentración de olor medida es mucho más elevada, 10.321 u<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, con lo que la tasa de emisión obtenida es de **344.033 u<sub>E</sub>/s**.

---

#### **2.9.2.7. Emisiones en el Vertedero de Las Dehesas**

---

En este caso, la tasa total de emisiones resulta de **4.380.952 u<sub>E</sub>/s**.

---

#### **2.9.2.8. Emisiones en la Planta de Biometanización de Las Dehesas**

---

Esta Planta es el objeto de estudio de este Trabajo, por lo que sus focos de olor se analizan más detalladamente en el *Capítulo 3*.

---

#### **2.9.2.9. Tabla resumen de las tasas de emisión de cada foco**

---

A continuación, se muestra una tabla resumen con las emisiones de todos los focos conflictivos descritos anteriormente.

<b>Planta de Tratamiento de Biogás</b>	
Salida del Biofiltro y Filtro de CA	2.866.924 [u <sub>E</sub> /s]
Entrada y Salida del scrubber	7.223.838 [u <sub>E</sub> /s]
Total	10.090.762 [u <sub>E</sub> /s]
<b>Centro de Tratamiento Las Lomas</b>	
Fosos de descarga de residuos	44.212 [u <sub>E</sub> /s]
Zona de triaje de la Planta de Separación y Clasificación	6.873 [u <sub>E</sub> /s]
Acumulación de materia orgánica al aire libre	16.000 [u <sub>E</sub> /s]
Total	67.085 [u <sub>E</sub> /s]

<b>Centro de Tratamiento La Paloma</b>	
Fosos de recepción de residuos	26.550 [uo <sub>E</sub> /s]
Nave de triaje	70.224 [uo <sub>E</sub> /s]
Biofiltro Planta de Compostaje	19.444 [uo <sub>E</sub> /s]
Total	116.218 [uo <sub>E</sub> /s]
<b>Planta de Biometanización de La Paloma</b>	
Fosos de recepción de materia orgánica	1.387 [uo <sub>E</sub> /s]
Zona de triaje	10.272 [uo <sub>E</sub> /s]
Nave de deshidratación	31.334 [uo <sub>E</sub> /s]
Nave de acumulación del digesto	18.685 [uo <sub>E</sub> /s]
Biofiltro	75.857 [uo <sub>E</sub> /s]
Total	137.535 [uo <sub>E</sub> /s]
<b>Planta de Separación y Clasificación de Las Dehesas</b>	
Fosos de recepción de los residuos	28.999 [uo <sub>E</sub> /s]
Zona de triaje	45.144 [uo <sub>E</sub> /s]
<b>Planta de Compostaje de Las Dehesas</b>	
Nave central de compostaje	67.112 [uo <sub>E</sub> /s]
Acumulación de compost al aire libre	100.000 [uo <sub>E</sub> /s]
Nave de afino	53.161 [uo <sub>E</sub> /s]
Biofiltros	344.033 [uo <sub>E</sub> /s]
Total	638.449 [uo <sub>E</sub> /s]
<b>Vertedero de las Dehesas</b>	
Total	4.380.952 [uo <sub>E</sub> /s]
<b>Planta de Biometanización de Las Dehesas</b>	
Fosos de descarga de los residuos	14.500 [uo <sub>E</sub> /s]
Zona de triaje	12.591 [uo <sub>E</sub> /s]
Nave de deshidratación	69.111 [uo <sub>E</sub> /s]
Nave de acumulación del digesto	9.120 [uo <sub>E</sub> /s]
Biofiltros	35.691 [uo <sub>E</sub> /s]
Total	141.013 [uo <sub>E</sub> /s]
<b>Total emisiones</b>	
<b>15.572.014 [uo<sub>E</sub>/s]</b>	

Tabla 8. Resumen de las emisiones de los focos de generación de olores [6] [40]

---

### 2.9.3. Sistemas de desodorización en el Parque Tecnológico de Valdemingómez

---

Gracias al Estudio sobre olores realizado por la empresa Odournet [40], se conocen los diferentes sistemas de desodorización existentes en el Parque Tecnológico de Valdemingómez, los cuales se describen a continuación.

---

#### **2.9.3.1. Sistemas de desodorización en La Paloma**

---

- Sistema de aspiración del aire ambiente en el foso de descarga y en la nave de triaje. Este sistema es capaz de operar con caudales de hasta 70.000 m<sup>3</sup>/h, y los dirige posteriormente a sistemas de biofiltración.
- Biofiltro en la planta de compostaje.
- Sistema de aspiración del aire ambiente en los fosos de recepción de la planta de biometanización con capacidad de operar caudales de hasta 16.000 m<sup>3</sup>/h.
- Sistema de aspiración en la zona de triaje de la planta de biometanización con capacidad para operar caudales de hasta 35.500 m<sup>3</sup>/h.
- Sistema de aspiración con capacidad de 32.500 m<sup>3</sup>/h en la nave de deshidratación de la planta de biometanización.
- Aportación de caudal de aireación de 2,5 m/s en la zona de acumulación del digesto en la planta de biometanización.
- Cuatro biofiltros para el tratamiento de las emisiones de la planta de biometanización.

---

#### **2.9.3.2. Sistemas de desodorización en Las Lomas**

---

- Sistema de aspiración de aire ambiente con capacidad de hasta 120.000 m<sup>3</sup>/h en los fosos de descarga de residuos.
- Sistema de ventilación forzada con capacidad de absorber caudales de hasta 25.000 m<sup>3</sup>/h. Los caudales absorbidos por este sistema se utilizarán como aire de combustión en los hornos de incineración.

---

#### **2.9.3.3. Sistemas de desodorización en Las Dehesas**

---

- Sistema de aspiración con capacidad de 85.000 m<sup>3</sup>/h en los fosos de recepción de la planta de separación y clasificación.

- Sistema de ventilación natural en la zona de triaje de la planta de separación y clasificación.
- Sistema de aspiración de aire ambiente cuyo caudal se dirige a los túneles de compostaje en la nave de compostaje.
- Sistema de aspiración con capacidad de hasta 35.000 m<sup>3</sup>/h en la nave de afino de la planta de compostaje.
- Cuatro biofiltros abiertos en la planta de compostaje.
- Sistemas de desulfuración en la planta de biometanización.
- **Biofiltro en la Planta de Biometanización, objeto de este Trabajo.**

---

#### **2.9.3.4. Sistemas de desodorización en la Planta de Tratamiento de Biogás de La Galiana**

- Scrubber y unidad de biofiltración cerrada seguidos de filtro de carbón activo.
- Sistema de depuración del biogás.



#### **2.9.4. Tipos de olores en el Parque y su impacto en la población**

Después de haber analizado las tasas de emisión de cada uno de los focos del Parque, hay que analizar qué impacto tienen las mismas en la población.

Como ya se ha comentado anteriormente, el impacto de los olores en la población va a depender de otros valores externos, tales como la meteorología, sobre todo la dirección del viento, o la topología del terreno.

La siguiente tabla muestra los diferentes tipos de olores que se han identificado en el Informe Odorífero de Odournet [40] y de qué focos provienen:

<b>TIPO DE OLOR</b>	<b>FOCO</b>
Basura fresca	Centro de Tratamiento La Paloma
	Fosos de recepción del Centro Las Lomas
	Naves de triaje y Planta de Compostaje de Las Dehesas
	Planta de Biometanización Las Dehesas
Compostaje	Planta de Compostaje de La Paloma
	Naves de triaje y Planta de compostaje de Las Dehesas
Biogás	Planta de Tratamiento de Biogás de Las Dehesas
	Vetadero de Las Dehesas
Lodos y fangos	Planta de Biometanización de Las Dehesas
	Centro de Tratamiento La Paloma
Planta Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Todo el área de estudio
Agua residual	EDAR
Camión basura	En todos los fosos de recepción
Humo/quemado	Procesos de incineración en el Parque

*Tabla 9. Tipos de olores del Parque Tecnológico de Valdemingómez asociados a sus focos de generación [40]*

Para el análisis del impacto en la población de estos olores, se han tenido en cuenta por una parte medidas tomadas centro del Parque, y por otra, medidas en dos puntos fijos situados fuera del Parque y próximos a poblaciones.

El olor caracterizado como “Planta Residuos Sólidos Urbanos (RSU)” constituye un tipo de olor que agrupa los olores de basura fresca, compostaje, biogás y lodos-fangos; por ese motivo se localiza en toda el área de estudio.

---

---

### 3. ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESODORIZACIÓN DE LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS

---

---

Realizar el análisis y dimensionamiento de los sistemas de desodorización necesarios en todo el Parque Tecnológico de Valdemingómez sería un trabajo amplísimo que requeriría de muchos más recursos de los que se disponen para la realización de este Trabajo.

Es por ello que el estudio se ha centrado en el centro de Las Dehesas al tratarse del centro más conflictivo en la generación de olores.

Se recuerdan a continuación las diferentes plantas que componen este centro:

- Planta de separación y clasificación.
- Área de tratamiento de residuos voluminosos.
- Planta de compostaje.
- Pequeña incineradora de animales muertos.
- Planta de tratamiento de plásticos.
- Planta de tratamiento de lixiviados.
- Área de transferencia de rechazos.
- Depósito controlado en vertedero.
- **Planta de biometanización.**
- Planta de tratamiento del biogás.

De todas estas plantas, aquellas que presentan un mayor problema en la generación de malos olores son:

- La planta de separación y clasificación.
- La planta de compostaje.
- El depósito controlado en vertedero.
- La planta de biometanización.

Son tantos los focos de malos olores en cada una de estas plantas, que **se ha decidido centrar la atención** en una de ellas, más concretamente **en la planta de biometanización**, por tratarse de la única planta a la que se ha podido acceder para la recopilación de información, así como presentarse como la más interesante en cuanto al número de procesos que se llevan a cabo en ella.



---

### 3.1. PROCESOS SEGUIDOS EN LA PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN DE LAS DEHESAS

---

En la Planta de Biometanización de Las Dehesas se llevan a cabo los siguientes procesos:

- Recepción de la materia orgánica directamente procedente de la recogida selectiva en los **fosos de descarga o de recepción**.
- **Pretratamiento** de la fracción de materia orgánica procedente de la recogida, con el objetivo de obtener materia orgánica con el menor número de impurezas posible para ser tratada posteriormente en un proceso de digestión anaerobia.
- **Digestión anaerobia en digestores**, para obtener digesto y biogás.
- Acopio del digesto antes de su traslado a la Planta de Compostaje de La Paloma.
- Reducción de las emisiones de malos olores a la atmósfera gracias a la acción de un **biofiltro**.

Además de todo ello, la planta también cuenta con:

- **Antorcha y gasómetro**, que funcionan como elementos de seguridad, quemando el biogás que no pueda ser asumido por la planta de tratamiento de biogás del mismo centro. Aunque esta medida genere emisiones contaminantes, el quemado de biogás es menos nocivo que liberar directamente el biogás a la atmósfera.
- **Planta depuradora** para el tratamiento de los lixiviados generados en el proceso de deshidratación del digesto producido en la digestión anaerobia.



*Figura 47. Vista panorámica de la Planta de Biometanización de Las Dehesas [65]*

---

#### 3.1.1. Pretratamiento

---

Anteriormente, a esta planta de biometanización llegaba la fracción orgánica previamente tratada procedente de las plantas de separación tanto de Las Dehesas como de Las Lomas.

Sin embargo, en la actualidad, al complejo llega la materia orgánica procedente directamente de la recogida selectiva, por lo que cuenta con su propia línea de pretratamiento.

La falta de pretratamiento previo provoca la existencia de un importante cuello de botella en esta fase debido a la alta recepción de impropios, lo cual ocasiona dos problemas principalmente:

- El rápido llenado de los fosos de recepción, también consecuencia del exponencial crecimiento en la generación de basura (actualmente la planta recibe aproximadamente 700 toneladas diarias).
- La entrada de un gran número de impropios en los digestores anaerobios, tales como plásticos o textiles, que provocan, por una parte, que las bombas de llenado de los mismos se atasquen con asiduidad, y, por otra, que los digestores tengan que ser vaciados frecuentemente.



*Figura 48. Fosos de recepción de la Planta de Biometanización de Las Dehesas [58]*

La **línea de pretratamiento** de esta planta tiene como objetivo que la materia orgánica destinada a los digestores anaerobios sea lo más pura posible. Tiene capacidad para gestionar unas 218.000 toneladas al año de materia orgánica procedente de la recogida selectiva, y presenta los siguientes elementos:

- Cribado a través de un trómel de mayor diámetro que permite la separación de los residuos voluminosos.

- Inspección manual a través de cintas inclinadas y un separador balístico.
- Segundo cribado a través de un trómel de menor diámetro después del cual se obtiene la materia orgánica relativamente libre de impurezas para poder ser llevada a los digestores anaerobios de biometanización.



*Figura 49. Trómeles para la separación de residuos voluminosos y otras impurezas de la materia orgánica [58]*

Una vez finalizado el pretratamiento, la materia orgánica, ya libre de impurezas, se dividirá en dos fracciones:

- a. La fracción mayoritaria se utilizará para alimentar directamente a los digestores anaerobios a través de la acción de bombas.
- b. El resto se almacenará en una nave anexa a los fosos de recepción, denominada pulmón. Este almacenaje encuentra su explicación en la necesidad de alimentación continua de los digestores. Los domingos no se lleva a cabo el servicio de recogida en la Ciudad de Madrid, lo que provocaría que, en ausencia de este pulmón, los digestores vieran interrumpido su suministro durante este día de la semana. Debido a su naturaleza

biológica, es imperante que las condiciones de trabajo de los mismos sean lo más constantes posibles, lo que incluye que la alimentación se produzca durante todos los días de la semana.

La fracción de materia orgánica destinada a los digestores anaerobios se mezclará previamente con vapor y diluyentes con el objetivo de homogeneizarla para facilitar su fermentación. Como principal diluyente, se utilizará el líquido procedente del proceso de centrifugación al que se somete el digesto obtenido de los digestores, proceso que se explicará más adelante [58] [63].

---

---

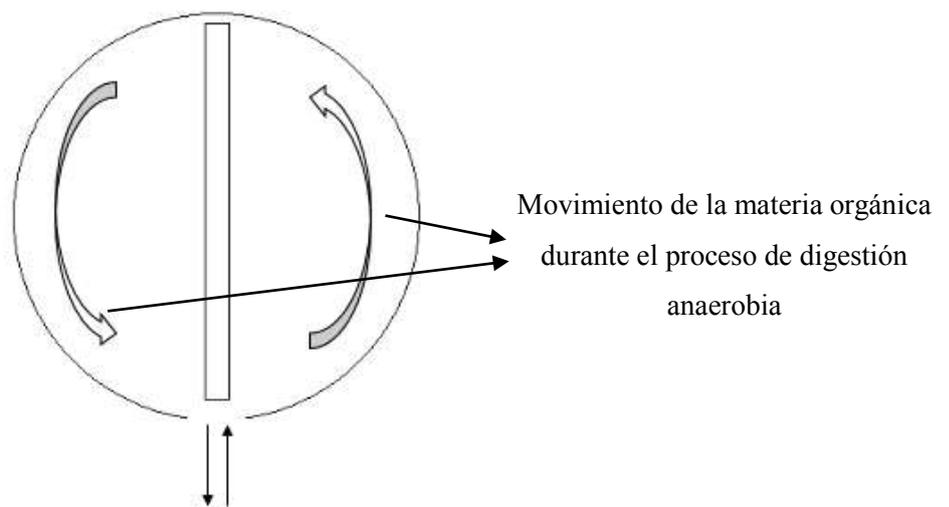
### 3.1.2. Proceso en digestores

---

---

Esta línea de biometanización tiene una capacidad de 161.000 toneladas de materia orgánica al año, y consta de cinco digestores, de los cuales solo se encuentran activos cuatro, con una capacidad unitaria de 3.600 m<sup>3</sup>. El quinto se mantiene como reserva en caso de que fuese necesaria aumentar la capacidad de tratamiento.

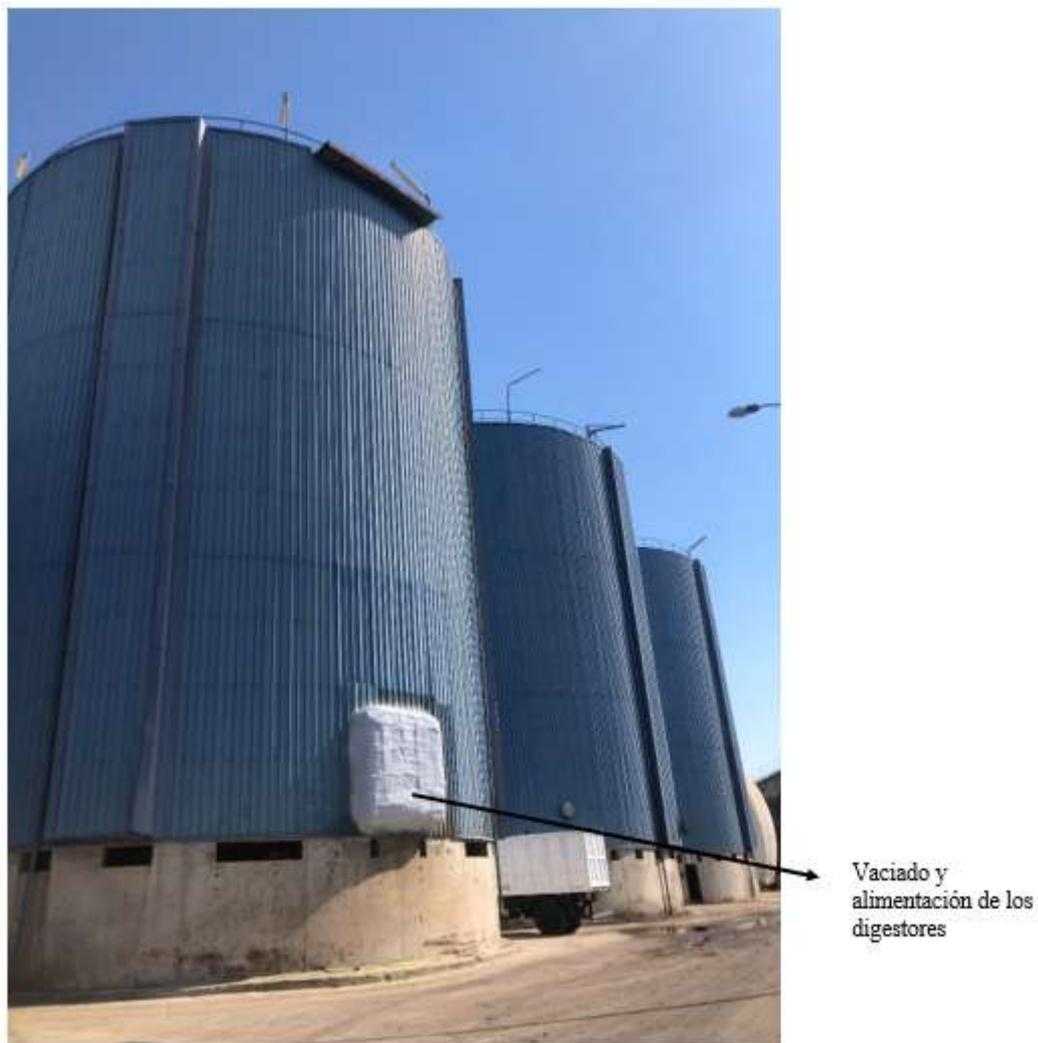
Estos digestores se alimentan por la parte inferior, y la materia orgánica permanecerá en ellos durante **21 días a unos 40°C**, lo que provoca que la digestión se desarrolle en **régimen mesofílico**. En su interior existe un muro vertical que fuerza el movimiento de la materia orgánica a lo largo de todo el digestor, evitando así su sedimentación:



Entrada y salida al digestor anaerobio

Figura 50. Vista en planta de un digestor anaerobio [6]

Además de este muro vertical, parte del biogás que se va obteniendo en el proceso de digestión anaerobia se inyecta en los reactores a través de 400 inyectores para generar el movimiento de la materia orgánica dentro del reactor e impedir su sedimentación.



*Figura 51. Digestores anaerobios de la Planta de Biometanización de Las Dehesas [58]*

Una vez finalizado el proceso en los digestores, es necesario tratar los productos obtenidos, es decir, el biogás y el digesto.

---

---

### **3.1.3. Tratamiento del biogás**

---

---

El biogás obtenido de la digestión anaerobia tiene un contenido de  $\text{CH}_4$  que oscila entre el 60 y el 65%. El resto de su composición es fundamentalmente  $\text{CO}_2$ .

Parte de este biogás se utilizará para inyectarse en los digestores y evitar la sedimentación de la materia orgánica, como se ha explicado anteriormente. El resto, parte mayoritaria, se destinará a la planta de tratamiento de biogás presente en el mismo Centro de Las Dehesas, donde se eliminará el CO<sub>2</sub> que pueda contener para poder ser introducido en la red de gas.

Este producto es el que hace que la digestión anaerobia presente un gran interés como valorización energética.

Adicionalmente, esta planta presenta un sistema de desulfuración de biogás.

---

---

#### **3.1.4. Tratamiento del digesto**

---

---

El tratamiento del digesto se produce en la misma planta de biometanización.

A la salida de los digestores, el sólido obtenido presenta una humedad relativa de aproximadamente un 80%, por lo que será necesario someterle a un proceso de deshidratación que consta de tres etapas:

1. Prensas de tornillos.
2. Tamices.
3. Centrífugas.



*Figura 52. Tamices para la deshidratación del digesto en la Planta de Biometanización de Las Dehesas [58]*



*Figura 53. Centrifugas para la deshidratación del digesto en la Planta de Biometanización de Las Dehesas [58]*

De cada una de estas tres etapas se obtiene una fracción sólida y una fracción líquida. La fracción sólida es la que va pasando a la etapa consecutiva con el objetivo de obtener el digesto deshidratado.

En la última etapa, constituida por las centrifugadoras, el sólido obtenido, que constituirá el digesto deshidratado, se almacenará en una nave de acopio y se trasladará posteriormente a la planta de compostaje de La Paloma, mientras que el líquido se dividirá, a su vez en dos fracciones:

- Parte se llevará a depuradora.
- Parte se utilizará en la homogeneización de la materia orgánica previa a su entrada a los digestores, como se ha descrito anteriormente.

Las fracciones líquidas de las primeras dos etapas, consideradas lixiviados, serán procesadas por un gestor autorizado.

La siguiente figura muestra el proceso seguido por el digesto en la nave de deshidratación:

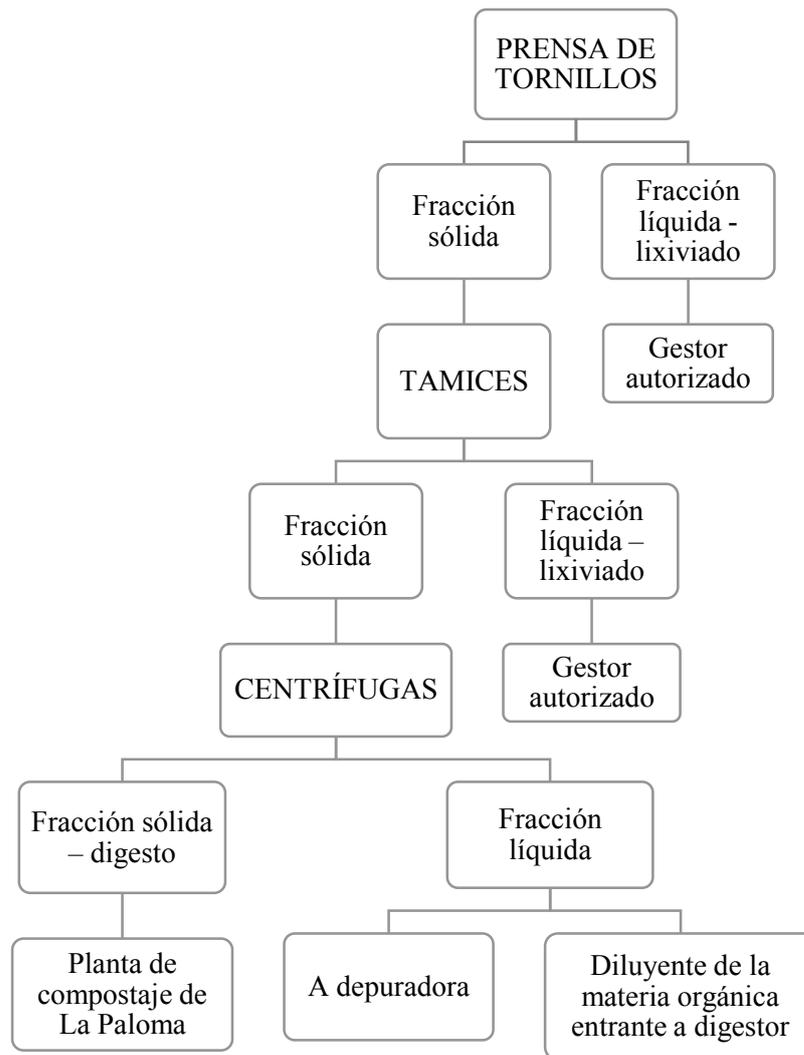


Figura 54. Proceso de deshidratación del digesto [6]

---

### 3.2. DIMENSIONES DE LAS INSTALACIONES

---

En el año 2019, el Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid, publicó el siguiente concurso público:

*Redacción de proyecto, ejecución de obra y mantenimiento de sistemas de desodorización de plantas de biometanización y tratamiento de biogás del Parque Tecnológico de Valdemingómez.*

Este concurso se dividió en tres lotes, debido a la presencia de tres plantas de biometanización en el Parque: una en el Centro de Las Dehesas, otra en el Centro de La Paloma, y, por último, otra en el Centro de Tratamiento de Biogás, también perteneciente a Las Dehesas, y su objetivo era la mejora de los sistemas de desodorización de estas plantas.

El Lote 1 de este concurso, referente a la Planta de Biometanización, fue ganado por la UTE de FCC Medio Ambiente, S.A.U., y se ha tenido en cuenta en este Trabajo para obtener las dimensiones de las diferentes naves de las que consta el complejo, así como para conocer en más profundidad los focos de olor del mismo, datos necesarios para el dimensionamiento del sistema de desodorización que se abordará en los siguientes capítulos.

Se indican a continuación las dimensiones de partida de las instalaciones de la Planta [66]:

---

#### Nave de pretratamiento

---

Las dimensiones totales de la planta son de 56 x 69,2 m con una altura de 13,4 m hasta cumbrera.

Esta nave está dividida en varias áreas:

- Por una parte, la **zona de los fosos de descarga**, con unas dimensiones de 56 x 10,8 m y una altura de 13,4 m. Esta zona cuenta con 3 puertas de 4,5 m de ancho y 6 m de altura.

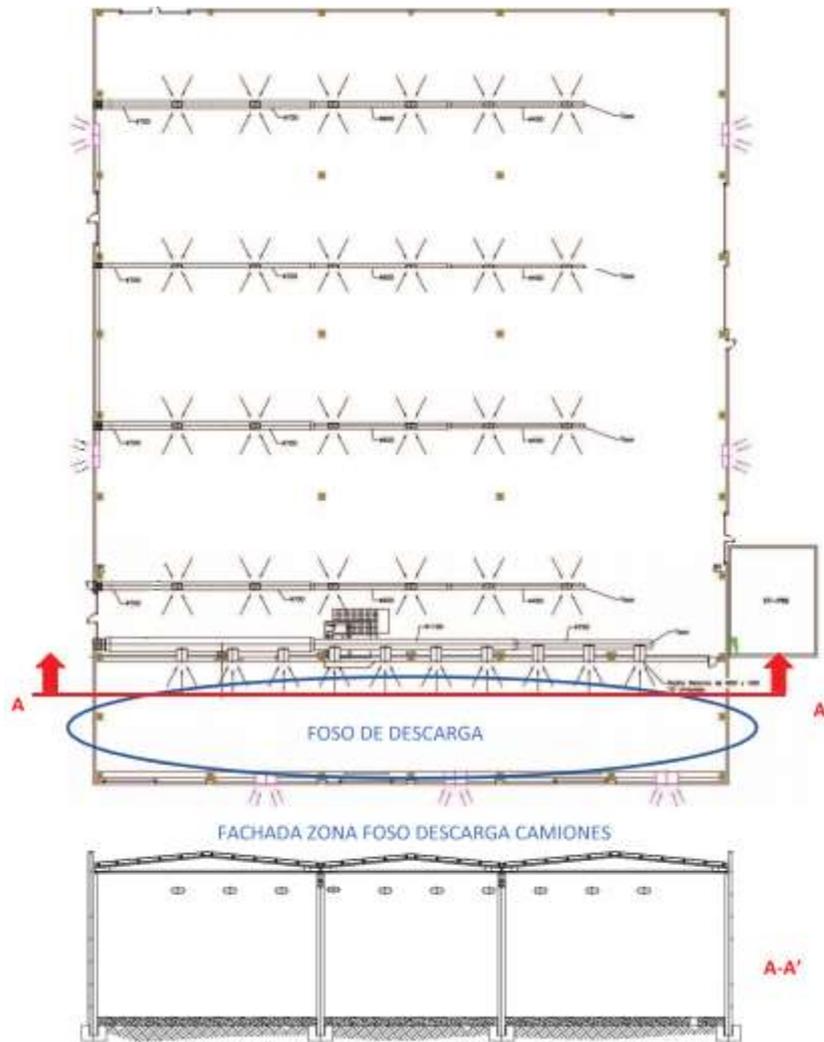


Figura 55. Planta y alzado de la Nave de Pretratamiento de la Planta de Biometanización de Las Dehesas.  
Detalle de los fosos de descarga [66]

La Figura anterior muestra también los conductos de desodorización utilizados actualmente.

- Por otra parte, la **zona de triaje y clasificación**, con unas dimensiones totales de 56 x 58,4 m. Esta zona cuenta con una nave independiente en la que se recibe la materia orgánica procedente de la implementación del nuevo cubo marrón en Madrid (FORS<sup>17</sup>), la cual presenta unas dimensiones de 13,6 x 25,4 m y una altura de 8 m.

---

<sup>17</sup> FORS: Fracción Orgánica de la Recogida Selectiva.

En esta zona, se cuenta con 3 puertas cuadradas enrollables de 6 m<sup>2</sup>, 1 puerta seccional también cuadrada de 4,5 m<sup>2</sup> de área con paso peatonal, otra puerta enrollable de 4,5 m de ancho y 5 m de alto y, por último, otra puerta enrollable de 6 m de ancho y una altura de 7 m.

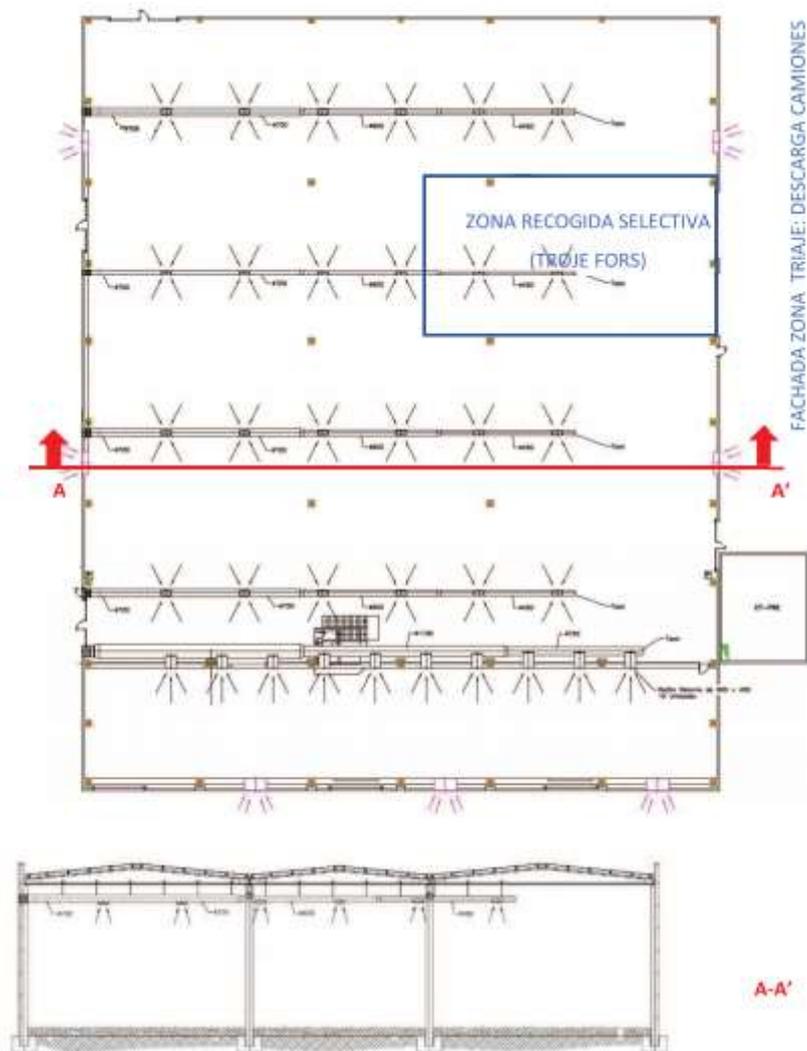


Figura 56. Planta y alzado de la Nave de Pretratamiento de la Planta de Biometanización de Las Dehesas. Detalle de la zona de triaje y clasificación y de la zona de FORS [66]

La siguiente tabla agrupa las dimensiones de la nave de pretratamiento:

<b>NAVE DE PRETRATAMIENTO</b>				
	<i>Fosos de descarga</i>	<i>Zona de triaje y clasificación</i>	<i>Zona FORS</i>	<i>Dimensiones totales</i>
<i>L1 [m]</i>	56,0	56,0	25,4	56,0
<i>L2 [m]</i>	10,8	58,4	13,6	69,2
<i>Altura [m]</i>	13,4	13,4	8,0	13,4
<i>Volumen [m<sup>3</sup>]</i>	8.104,32	41.059,84 <sup>18</sup>	2.763,52	51.927,68

Tabla 10. Tabla resumen de las dimensiones de la Nave de Pretratamiento [6]

### **Nave de deshidratación y acopio de digesto**

Esta nave está dividida en varias áreas:

- Por una parte, el **área de deshidratación**, con unas dimensiones de 23,6 x 64 m.
- Por otra parte, el **área de acopio de digesto**, de dimensiones 23,6 x 24 m.

En total, esta nave presenta unas dimensiones de 23,6 x 88 m con una altura de 10,9 m hasta cumbre.

<b>NAVE DE DESHIDRATACIÓN Y ACOPIO DE DIGESTO</b>			
	<i>Nave de deshidratación</i>	<i>Nave de acopio de digesto</i>	<i>Dimensiones totales</i>
<i>L1 [m]</i>	23,6	23,6	23,6
<i>L2 [m]</i>	64,0	24,0	88,0
<i>Altura [m]</i>	10,9	10,9	10,9
<i>Volumen [m<sup>3</sup>]</i>	16.463,36	6.173,76	22.637,12

Tabla 11. Tabla resumen de las dimensiones de la Nave de Deshidratación y Acopio de digesto [6]

<sup>18</sup> Este volumen no tiene en cuenta la zona independiente de FORS, por lo que se calcularía como:

$$Volumen_{Z.Triaje} = 56 \times 58,4 \times 13,4 - Volumen_{Z.FORS} = 43.823,36 - 2.763,52 = 41.059,84 \text{ m}^3$$





---

### 3.3. EMISIONES Y FOCOS DE OLORES EN LA PLANTA

---

Anteriormente en este Trabajo, más concretamente en el *Apartado 2.9.4*, se han citado todos los tipos de olores detectados en el Parque, así como su procedencia.

Más concretamente, en la Planta de Biometanización de Las Dehesas se pueden detectar los siguientes tipos de olores [40]:

- Olor a basura fresca, procedente de los fosos de recepción.
- Olor a camión de basura, procedente de los camiones que descargan la basura procedente de la recogida selectiva en los fosos de recepción.
- Olor a lodos-fangos, procedente de los lixiviados obtenidos en el proceso de deshidratación del digesto.
- Olor caracterizado como “Planta Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que agrupa los olores de basura fresca, compostaje, biogás y lodos-fangos. Este tipo de olor se percibe en todo el recinto del Parque, por lo que también se identifica en la Planta objeto de estudio.

Básicamente, existen dos grandes focos de generación de malos olores [67]:

- Por una parte, la nave de pretratamiento. En este caso, los malos olores se generan debido a la ausencia de cierre automático en las puertas, lo cual provoca que estas permanezcan abiertas la mayor parte del tiempo. Además, el aire de esta nave no se somete a un tratamiento de desodorización, por lo que se envía al ambiente con una alta concentración de contaminantes odoríferos.
- Por otra parte, la nave de deshidratación y acopio de digesto. En este caso, se tiene el mismo problema de falta de cierre automático en las puertas.

Para conocer las emisiones de los focos potenciales de olor en la Planta, se ha recurrido al Informe Odorífero desarrollado por la empresa Odournet [40], ya utilizado anteriormente en este Trabajo. Según este Informe se tienen las siguientes emisiones en la Planta:

- **Fosos de descarga.** Se ha considerado una superficie de emisión en los fosos de 580 m<sup>2</sup>, y un coeficiente de emisión superficial de 25 u<sub>0E</sub>/m<sup>2</sup>s, con lo que la tasa de emisión en este caso era de **14.500 u<sub>0E</sub>/s** las 24 horas del día los 365 días del año:

$$Tasa\ emisión = 580\ m^2 \times 25\ u_{0E}/m^2s = 14.500\ u_{0E}/s$$

*Ecuación 2. Cálculo tasa de emisión en los fosos de descarga*

- **Zona FORS.** El Estudio realizado por la empresa Odournet no contempla la determinación de la tasa de emisión de esta zona. Sin embargo, se determina siguiendo el mismo procedimiento que para el caso de los fosos de descarga. Se toma una superficie de emisión igual al 95% de la superficie total de la nave, que resulta en 328 m<sup>2</sup>. Por otra parte, al recibirse en esta nave la materia orgánica de la recogida selectiva, el coeficiente de emisión superficial será mayor, siendo más similar al de la nave de acopio de digesto, por lo que se toma un valor de 35 uo<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>s. Con estos valores, la tasa de emisión resulta de **11.408 uo<sub>E</sub>/s**, las 24 horas diarias durante los 365 días del año:

$$Tasa\ emisión = 328\ m^2 \times 35\ uo_E/m^2s = 11.408\ uo_E/s$$

*Ecuación 3. Cálculo tasa de emisión en la zona FORS*

- **Zona de triaje y clasificación.** Para el cálculo de la tasa de emisión en este caso, se ha tenido en cuenta que el sistema de extracción existente lanza 49.700 m<sup>3</sup>/h al ambiente, así como la concentración de olor medida en el lugar, que resulta de 912 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>. Con todo ello, se obtiene una tasa de emisión de **12.591 uo<sub>E</sub>/s** durante 24 horas al día los 365 días del año:

$$Tasa\ emisión = 49.700\ m^3/h \times 912\ uo_E/m^3 \times 1\ h/3.600\ s = 12.591\ uo_E/s$$

*Ecuación 4. Cálculo tasa de emisión de la zona de triaje y clasificación*

- **Nave de deshidratación.** Se estima que en esta nave existen fugas a través de las puertas de 39.908 m<sup>3</sup>/h. Teniendo en cuenta que existe un sistema de extracción que envía al biofiltro un caudal igual a 21.849 m<sup>3</sup>/h, el caudal total que se envía a la atmósfera es la diferencia entre los dos caudales anteriores, es decir, 18.059 m<sup>3</sup>/h. La concentración de olor en esta nave es de 13.777 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, por lo que la tasa de emisión es de **69.111 uo<sub>E</sub>/s** 365 días al año las 24 horas diarias:

$$Tasa\ emisión = 18.059\ m^3/h \times 13.777\ uo_E/m^3 \times 1\ h/3.600\ s = 69.111\ uo_E/s$$

*Ecuación 5. Cálculo tasa de emisión en la nave de deshidratación*

- **Nave de acopio del digesto.** Se toma una superficie de emisión de 285 m<sup>2</sup> (la mitad del total de la nave, de 566,4 m<sup>2</sup>) y un coeficiente de emisión superficial de 32 uo<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>s, con lo que la tasa de emisión resultante resulta de **9.120 uo<sub>E</sub>/s**:

$$Tasa\ emisión = 285\ m^2 \times 32\ uo_E/m^2s = 9.120\ uo_E/s$$

*Ecuación 6. Cálculo tasa de emisión en la nave de acopio de digesto*

- **Biofiltro.** Este biofiltro trata únicamente el aire procedente de la nave de deshidratación y acopio de digesto. La concentración a la salida del biofiltro es de 2.896 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, y el caudal máximo que se envía al biofiltro es de 44.367 m<sup>3</sup>/h. Teniendo esto en cuenta, la tasa de emisión del biofiltro es de **35.691 uo<sub>E</sub>/s**:

$$Tasa\ emisión = 44.367\ m^3/h \times 2.896\ uo_E/m^3 \times 1\ h/3.600\ s = 35.691\ uo_E/s$$

*Ecuación 7. Cálculo tasa de emisión a la salida del biofiltro*

La **tasa global de emisión** de la Planta de Biometanización de las Dehesas se obtiene como el sumatorio de todas las anteriores, resultando en **141.013 uo<sub>E</sub>/s**.

La siguiente tabla recopila, a modo resumen, todas las tasas de emisión de la planta:

	<b>Tasa de emisión [uo<sub>E</sub>/s]</b>
Fosos de descarga	14.500
Zona FORS	11.408
Zona de triaje y clasificación	12.591
Nave de deshidratación	69.111
Nave de acopio de digesto	9.120
Salida del biofiltro	35.691
<b>Total</b>	<b>141.013</b>

*Tabla 12. Tasas de emisión en la Planta de Biometanización de Las Dehesas [40]*

Por último, se analizaron las corrientes de aire a tratar y se establecieron como **principales contaminantes** los siguientes [68]:

- **NH<sub>3</sub>**, en una concentración menor o igual a 10 ppm.
- **H<sub>2</sub>S**, en una concentración menor o igual a 10 ppm.
- **R-SH**, en una concentración menor o igual a 2,5 ppm.



---

### 3.4. SISTEMA DE DESODORIZACIÓN EXISTENTE

---

El sistema de desodorización con el que cuenta actualmente la planta consiste en un biofiltro con las siguientes características [66]:

- Superficie de 280 m<sup>2</sup> (20 x 14 m).
- Relleno de tipo orgánico de 1,5 m de altura.
- Presencia de un scrubber humidificador antes de la entrada del biofiltro.
- Caudal de 44.367 m<sup>3</sup>/h.

A continuación, se explica el sistema de ventilación y conducción que se encarga de la extracción del aire de las diferentes naves de la Planta. Para conocer estos datos de la situación de partida, se ha vuelto a recurrir al Proyecto presentado al Concurso Público para la renovación del sistema de desodorización de esta Planta [66] [67].

---

#### Nave de Pretratamiento

---

- **Zona de fosos de descarga.** Como ya se ha comentado en apartados anteriores, el aire de esta zona es lanzado directamente a la atmósfera, sin tratamiento de desodorización previo. Esta zona tampoco presenta un sistema de extracción; simplemente, se cuenta con la presencia de 3 rejillas encargadas de introducir aire exterior en la nave de dimensiones 2,5 x 0,7 m, localizadas en la parte inferior de la fachada. A este insuficiente sistema de ventilación hay que añadirle el hecho de que las puertas permanecen la mayor parte del tiempo abiertas.
- **Zona de triaje y clasificación.** Cuenta con un sistema de ventilación forzada que capta el aire de la nave y lo lanza directamente a la atmósfera, sin desodorización previa. Este sistema está constituido por 4 conducciones iguales separadas entre sí una distancia de 14,6 m. Cada una de ellas cuenta con 6 rejillas repartidas a lo largo de las mismas de dimensiones 0,9 x 0,4 m. En el extremo de estas conducciones se cuenta con extractores con capacidad de asumir un caudal de 12.425 m<sup>3</sup>/h, por lo que el caudal total extraído era de:

$$Q_{Total\ zona\ triaje\ y\ clasificación} = 4 \cdot Q_{Unitario} = 4 \cdot 12.425 = 49.700 \frac{m^3}{h}$$

*Ecuación 8. Caudal total extraído de la zona de triaje y clasificación de la Planta de Biometanización de Las Dehesas*



*Figura 57. Conductos de captación de aire en la zona de pretratamiento [6] [58]*

- **Zona FORS.** En esta pequeña nave independiente integrada dentro de la zona de triaje y clasificación general, se cuenta también con un sistema de extracción con capacidad de asumir caudales de  $8.300 \text{ m}^3/\text{h}$ , los cuales son también enviados directamente a la atmósfera sin pretratamiento previo.

### **Nave de deshidratación y acopio del digesto**

---

En este caso, el sistema de extracción y renovación está constituido por una red de conductos de diámetro variable con valores que oscilan entre los 225 mm y los 1.100 mm. Esta red se encarga de dirigir el caudal extraído al biofiltro antes de ser lanzado a la atmósfera. Además, 3 rejillas de dimensiones 2,5 x 0,7 m introducen aire exterior en las naves.



Figura 58. Conductos de ventilación en la nave de deshidratación [6] [68]

Esta red de conductos aspira un caudal de 21.849 m<sup>3</sup>/h de la nave de deshidratación y de 10.659 m<sup>3</sup>/h de la nave de acopio de digesto.

Además de esta red, encargada de la extracción ambiental del aire de las naves, en la nave de deshidratación existen una serie de extracciones localizadas en ciertos puntos de los equipos encargados de la deshidratación del digesto en los que la generación de olores es especialmente elevada. Para el cálculo del caudal resultante de estas extracciones, supuso que existen 4 extracciones localizadas en la nave, a través de conductos de diámetro de 150 mm, a través de los cuales el aire circula a una velocidad de 7,5 m/s, con lo que se obtiene que el caudal extraído a través de estas extracciones es de 12.000 m<sup>3</sup>/h:

$$\begin{aligned}
 \text{Caudal extraído} &= \phi \frac{\pi}{4} \times n^{\circ} \text{extracciones} \times \text{velocidad paso} \times 3600 \\
 &= \frac{0,15 \times \pi \times 4 \times 7,5 \times 3600}{4} \approx 12.000 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

Ecuación 9. Cálculo caudal extraído en extracciones localizadas en la nave de deshidratación



Figura 59. Conductos de captación localizada en la nave de deshidratación [6] [68]

La siguiente tabla muestra el resumen de los caudales que se extraen en la Planta de Biometanización. Se indican también las renovaciones de aire que se producen en cada una de las áreas. Dichas renovaciones se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Renovaciones/hora} = \frac{\text{Caudal extraído}}{\text{Volumen estancia}}$$

Ecuación 10. Cálculo del número de renovaciones a la hora en una estancia

	ZONA	CAUDAL EXTRAÍDO [m <sup>3</sup> /h]	VOLUMEN ESTANCIA [m <sup>3</sup> ]	DESTINO DEL CAUDAL EXTRAÍDO	RENOVACIONES A LA HORA
<b>NAVE PRETRATAMIENTO</b>	<i>Fosos de recepción</i>	No hay extracción	8.104,32	Atmósfera	Sin renovaciones
	<i>Zona triaje y clasificación</i>	49.700	41.059,84	Atmósfera	1,210
	<i>Zona FORS</i>	8.300	2.763,52	Atmósfera	3,003
<b>NAVE DESHIDRATACIÓN Y</b>	<i>Nave deshidratación</i>	21.849	-	Biofiltro	
	<i>Extracción ambiental</i>	9.849	16.463,36	Biofiltro	0,598
	<i>Extracción localizada</i>	12.000	-	Biofiltro	-
	<i>Nave acopio de digesto</i>	10.659	6.173,76	Biofiltro	1,727

Tabla 13. Caudales extraídos y su destino en la Planta de Biometanización de Las Dehesas [66]

En cuanto a las renovaciones por hora de las diferentes naves de la Planta, es obvio que resultan claramente insuficientes. El ejemplo más plausible se aprecia en la zona de los fosos de recepción, que, siendo una de las áreas más contaminadas, no cuenta con renovaciones de aire.



### 3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL NUEVO SISTEMA DE DESODORIZACIÓN

Una vez conocidos tanto el funcionamiento actual de la Planta de Biometanización como su sistema de desodorización, se procederá a dimensionar un nuevo sistema de desodorización que mejore las condiciones actuales de generación de malos olores.

Los principales problemas que presenta el sistema existente son:

- Ausencia de desodorización en los caudales procedentes de las áreas de la nave de pretratamiento: fosos de recepción, zona de triaje y clasificación y zona FORs.
- Renovaciones insuficientes.
- Permanencia de las puertas abiertas la mayor parte del tiempo, lo que favorece la fuga de aire contaminado.
- El biofiltro con el que cuenta la planta resulta escaso para la eliminación de los contaminantes.

La siguiente tabla recopila a modo resumen las dimensiones de todas las estancias que van a tener que ser desodorizadas:

	NAVE PRETRATAMIENTO			NAVE DESHIDRATACIÓN Y ACOPIO DE DIGESTO	
	<i>Fosos de descarga</i>	<i>Zona triaje y clasificación</i>	<i>Zona FORs</i>	<i>Nave de deshidratación</i>	<i>Nave de acopio</i>
<i>L1 [m]</i>	56,0	56,0	25,4	23,6	23,6
<i>L2 [m]</i>	10,8	58,4	13,6	64,0	24,0
<i>Altura [m]</i>	13,4	13,4	8,0	10,9	10,9
<i>Volumen [m<sup>3</sup>]</i>	8.104,32	41.059,84	2.763,52	16.463,36	6.173,76

Tabla 14. Dimensiones y volúmenes de las estancias a desodorizar

El sistema de desodorización contará con dos partes:

- La red de conductos encargada de la captación del aire de las diferentes estancias y su envío al sistema de desodorización.
- El sistema de desodorización propiamente dicho.

#### 3.5.1. Mejoras propuestas

Se proponen una serie de mejoras en el sistema de desodorización actual para reducir la producción de malos olores:

- Tratamiento mediante desodorización del aire de todas las áreas de la nave de pretratamiento. Para ello deberá remodelarse el sistema de extracción actual, así como introducir un sistema de extracción en las estancias que no están siendo desodorizadas.
- Introducción de un sistema de cierre automático en las puertas para evitar que permanezcan abiertas.
- Implementación de un nuevo sistema de desodorización que pueda tratar el caudal de todas las estancias de la Planta.

---

---

### **3.5.2. Dimensionamiento del sistema de extracción**

---

---

Para el dimensionamiento del sistema de extracción se van a seguir los siguientes pasos:

1. Cálculo de las renovaciones por hora en cada estancia, lo que permitirá conocer el caudal que se va a extraer.
2. Dimensionamiento de los conductos de extracción en función del caudal que se tiene que extraer.
3. Dimensionamiento de las rejillas que permitirán la entrada de aire exterior a las diferentes estancias, asegurando así una correcta ventilación.
4. Dimensionamiento de las rejillas de entrada del aire ambiente a los conductos de extracción.
5. Elección de extractores para la impulsión del aire hacia los conductos de extracción.

---

---

#### **3.5.2.1. Determinación del número de renovaciones por hora**

---

---

Para el dimensionamiento de esta red de conductos, es necesario conocer el número de renovaciones a la hora que se hará en cada una de las estancias.

Para ello, se acude al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), el cual establece diferentes categorías en función de la calidad del aire interior que se quiere alcanzar. Así, se tienen las siguientes categorías [69]:

- IDA 1: exigida en hospitales, laboratorios, clínicas, etc., es decir, en edificios que requieren una calidad de aire muy buena.

- IDA 2: en edificios como hoteles, colegios, oficinas, bibliotecas, etc., con una calidad de aire buena.
- IDA 3: se aplica en cines, restaurantes, bares, establecimientos deportivos, etc., es decir, en edificios que exigen una calidad media del aire.
- IDA 4: en aquellos edificios en los que se contempla una calidad baja del aire, como en edificios industriales. A esta categoría pertenecen las estancias que se van a desodorizar.

Una vez determinada la categoría del aire de las instalaciones, se recurre a la norma DIN 1946 para determinar el número de renovaciones por hora que serían necesarias en unas instalaciones como las que se están analizando [70]. De esta norma se extraen diferentes rangos de renovaciones por hora en función del tipo de edificio industrial del que se trate:

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES DE AIRE POR HORA	SECTOR
Almacenes	5-10	INDUSTRIAL
Cabinas de pintura	25-50	
Cocinas industriales	15-30	
Fundiciones	8-15	
Inodoro industrial	8-15	
Laboratorios	8-15	
Laminadores	8-12	
Locales de aerógrafos	10-20	
Locales de decapado	5-15	
Remojos	≤ 80	
Salas de fotocopias	10-15	
Salas de máquinas	10-40	
Talleres de gran alteración del aire	10-20	
Talleres de montaje	4-8	
Talleres de poca alteración del aire	3-6	
Talleres de soldadura	20-30	
Tintorerías	5-15	

Tabla 15. Rangos de renovaciones por hora recomendadas según tipo de industria. Norma DIN 1946 [70]

Como no están contempladas explícitamente aquellas industrias relacionadas con la producción y gestión de los residuos, se asume que, entre las actividades señaladas en la tabla anterior, la que más similitud guarda con el caso que se está tratando es la categoría de “Talleres de gran alteración del aire”, que establece un número de renovaciones por hora comprendido entre 10 y 20.

Hay que tener en cuenta que el número de renovaciones por hora comprometerá el dimensionamiento de los conductos, sobre todo en las estancias más grandes. Establecer valores de, por ejemplo, 30 renovaciones por hora, conllevaría la extracción de caudales muy elevados, los cuales no podrían asumirse con diámetros razonables. Esto va a llevar a establecer un número

de renovaciones por hora inferiores a los rangos recomendados por la norma DIN 1946, lo que se tendrá que compensar posteriormente con sistemas de desodorización más potentes.

A partir de todo esto, se establecerá el número de renovaciones por hora en función de la mayor o menor contaminación odorífera que presente una estancia en cuestión:

- La nave con mayor concentración de olor es la **nave de deshidratación**, con 69.111 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, por lo que se establece un **número de renovaciones por hora igual a 7**, lo que conllevaría realizar una renovación del aire de la sala cada dos minutos.
- La siguiente estancia con una mayor contaminación son los **fosos de descarga**, con 14.500 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>. En este caso, se establece un total de **6 renovaciones por hora**.
- La **zona de triaje y clasificación**, con 12.591 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> contará con **3 renovaciones por hora**. Esta nave, al tener unas dimensiones tan elevadas, hace muy complicado establecer las renovaciones por hora ideales.
- La **zona FORS**, con 11.408 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> presentará también **6 renovaciones por hora**, ya que su tasa de emisión se parece mucho a la de la zona de triaje.
- Finalmente, para la **zona de acopio de digesto**, con una tasa de emisión de 9.120 uo<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, se tomarán **6 renovaciones por hora**.

Como puede comprobarse, se han aumentado considerablemente las renovaciones por hora de las estancias con respecto a los valores iniciales. Esto pone de manifiesto que, actualmente, las estancias no cumplen la normativa impuesta por el RITE sobre calidad de aire, así como tampoco la norma DIN 1946 sobre el número mínimo aconsejado de renovaciones.

---

### 3.5.2.2. Cálculo del caudal extraído en cada estancia

---

Una vez establecidas las renovaciones por hora en cada una de las estancias, se procede a determinar el caudal que se extraerá en cada una de ellas:

$$\text{Caudal extraído} = \text{Volumen estancia} \times n^{\circ} \text{renovaciones/hora}$$

*Ecuación 11. Cálculo del caudal extraído en cada estancia en función de su volumen y las renovaciones por hora*

La siguiente tabla muestra los resultados:

Zona	Volumen estancia [m <sup>3</sup> ]	Renovaciones/hora	Caudal extraído [m <sup>3</sup> /h]
Fosos de descarga	8.104,32	6	48.625,92
Zona de triaje y clasificación	41.059,84	3	123.179,52
Zona FORS	2.763,52	6	16.581,12
Nave de deshidratación	16.463,36	7	115.243,52
Nave de acopio de digesto	6.173,76	6	37.042,56

Tabla 16. Caudales extraídos de cada estancia a desodorizar

Indicar que, en el caso de la nave de deshidratación, se eliminan las captaciones localizadas de aire, ya que el aumento tan considerable de renovaciones por hora de la estancia se considera suficiente.

A continuación, se incluye una comparativa entre el caudal extraído y las renovaciones actuales y según la propuesta que se hace:

Zona	Renov/hora actuales	Caudal extraído actualmente [m <sup>3</sup> /h]	Renov/hora propuestas	Nuevo caudal extraído [m <sup>3</sup> /h]
Fosos de descarga	-	-	6	48.625,92
Zona de triaje y clasificación	1,210	49.700	3	123.179,52
Zona FORS	3,003	8.300	6	16.581,12
Nave de deshidratación	0,598	21.849	7	115.243,52
Nave de acopio de digesto	1,727	10.659	6	37.042,56
		<b>90.508</b>		<b>340.672,64</b>

Tabla 17. Comparativa entre el caudal extraído actualmente y el que se extraería según la propuesta

### 3.5.2.3. Dimensionamiento de los conductos de extracción

Conociendo los caudales a extraer de cada estancia, se procede al dimensionamiento de los conductos de extracción.

Se optará por un sistema de **ventilación forzada** en todas las estancias, por ser la más recomendable en instalaciones industriales. La principal característica de este tipo de ventilación es que cuenta con extractores eléctricos para facilitar la captación del aire.

Se escogerán conductos de **sección circular**, ya que presentan una menor pérdida de carga que los conductos rectangulares, a pesar de ocupar un mayor espacio; sin embargo, como se está tratando con naves diáfanas y de dimensiones elevadas, el espacio no supone un problema. Se tendrán en cuenta varios parámetros:

- El **caudal** que atravesará dichos conductos, ya hallado.
- El material de los conductos. En este caso, se utilizará **polietileno expandido**, un material aislante y muy versátil para este tipo de uso.
- La **velocidad de paso**. Este resulta el parámetro más importante, ya que influirá directamente tanto en las pérdidas de carga como en el ruido producido. Para instalaciones industriales, las velocidades máximas recomendadas se establecen en 10 m/s para evitar vibraciones y excesivas pérdidas de carga, aunque se permiten velocidades de hasta 12,5 m/s [71].

También será importante la pérdida de carga que se produzca en los conductos. Sin embargo, este cálculo resulta de gran complejidad, ya que se tienen que tener en cuenta muchos factores relacionados con la Dinámica de Fluidos. Este Trabajo no se centrará en el desarrollo detallado de todos estos cálculos, ya que estudia con más precisión el ámbito de los sistemas de desodorización, sino que se propondrán una serie de hipótesis que permitirán el dimensionamiento del sistema de extracción de manera general, teniendo en cuenta la velocidad de paso y los caudales, pretendiendo en todo momento que por los ramales de las diferentes naves circule, aproximadamente, el mismo caudal, para tener diámetros similares en todos los conductos.

El diámetro del conducto se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q_{extraído} \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{3600 \cdot Velocidad_{paso} \left[ \frac{m}{s} \right]}}$$

*Ecuación 12. Cálculo diámetro de los conductos de extracción*

---

## Conductos de la zona FORS

En este caso se extrae un caudal de **16.581,12 m<sup>3</sup>/h**, por lo que simplemente será necesario un conducto colocado en el centro de la nave, en su parte superior, con una longitud de 13,6 m.

	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Conducto total</b>	16.581,12	8,5	0,8

*Tabla 18. Diámetro del conducto de la zona FORS*

### **Conductos de los fosos de descarga**

En esta estancia, se tiene que extraer un caudal de **48.625,92 m<sup>3</sup>/h**.

Se dispondrán 3 conductos de ventilación colocados longitudinalmente, con una longitud de 56 m, en la parte superior de la estancia, separados entre sí una distancia de 2,8 m. El caudal se repartirá de manera equitativa entre cada conducto, y estos conductos convergirán en un conducto colocado en el exterior de la estancia, a través del cual se mandará el caudal total al sistema de desodorización. A este conducto total también llegará el ramal de la zona FORS.

	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Ramal 1</b>	16.208,64	8,0	0,8
<b>Ramal 2</b>	16.208,64	8,0	0,8
<b>Ramal 3</b>	16.208,64	8,0	0,8
<b>Conducto zona FORS</b>	16.581,12	8,5	0,8
<b>Total</b>	65.207,04	9,0	1,6

*Tabla 19. Diámetro de los conductos de la zona de los fosos de recepción*

### **Conductos de la zona de triaje y clasificación**

Esta nave es especialmente conflictiva por sus elevadas dimensiones. Se extraerá un caudal de **123.179,52 m<sup>3</sup>/h** a través de 7 conductos interiores colocados longitudinalmente con una longitud de 56 m separados entre sí una distancia de 8,8 m que convergirán en un conducto de mayor tamaño colocado de manera transversal, de longitud igual a 58,4 m, que será el encargado de transportar el caudal total hasta el sistema de desodorización.

	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Ramal 1</b>	17.597,07	9,0	0,8

<b>Ramal 2</b>	17.597,07	9,0	0,8
<b>Ramal 3</b>	17.597,07	9,0	0,8
<b>Ramal 4</b>	17.597,07	9,0	0,8
<b>Ramal 5</b>	17.597,07	9,0	0,8
<b>Ramal 6</b>	17.597,07	9,0	0,8
<b>Ramal 7</b>	17.597,07	9,0	0,8
<b>Conducto total</b>	123.179,52	12,0	1,9

Tabla 20. Diámetro de los conductos de la zona de triaje y clasificación

### Conductos de la nave de deshidratación

Esta nave presenta la mayor tasa de emisión de toda la Planta, por lo que se ha decidido que sea la nave con un mayor número de renovaciones por hora. Con ello, el caudal extraído es de **115.243,52 m<sup>3</sup>/h**.

Se dispondrán, de la misma manera que en la zona de triaje y clasificación, 7 conductos, separados entre sí una distancia de 9,7 m, y con una longitud de 23,6 m, que convergirán en un conducto de mayor diámetro que llevará el caudal al sistema de desodorización, cuya longitud será de 64 m.

	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Ramal 1</b>	16.463,36	8,5	0,8
<b>Ramal 2</b>	16.463,36	8,5	0,8
<b>Ramal 3</b>	16.463,36	8,5	0,8
<b>Ramal 4</b>	16.463,36	8,5	0,8
<b>Ramal 5</b>	16.463,36	8,5	0,8
<b>Ramal 6</b>	16.463,36	8,5	0,8
<b>Ramal 7</b>	16.463,36	8,5	0,8
<b>Conducto total</b>	115.243,52	12,0	1,8

Tabla 21. Diámetro de los conductos de la zona de triaje y clasificación

### Conductos de la nave de acopio de digesto

En esta última nave se va a extraer un caudal de **37.042,56 m<sup>3</sup>/h** a través de 3 conductos separados entre sí una distancia de 10,8 m y con una longitud de 23,6 m, que convergirán en un conducto de mayor diámetro, de longitud igual a 24 m, que lanzará el caudal al sistema de desodorización.

	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Ramal 1</b>	12.347,52	7,0	0,8

<b>Ramal 2</b>	12.347,52	7,0	0,8
<b>Ramal 3</b>	12.347,52	7,0	0,8
<b>Conducto total</b>	37.042,56	9,0	1,2

Tabla 22. Diámetro de los conductos de la nave de acopio de digesto

#### 3.5.2.4. Dimensionamiento de las rejillas para la entrada de aire del exterior

La entrada de aire desde el exterior es vital, por lo que se propone el dimensionamiento de rejillas que permitirán esta entrada.

Se recurre al catálogo de la empresa SCHAKO [72] para la elección de unas rejillas adecuadas para cada estancia.

Los dos tipos de rejilla más viables para la situación que se está analizando son:

- **Modelo ALA**, con capacidad de paso de 2000 m<sup>3</sup>/h y unas dimensiones de **390x390 mm**.
- **Modelo ALA SO**, con capacidad de paso de 5000 m<sup>3</sup>/h y unas dimensiones de **625x525 mm**. El fallo de estas rejillas es que la velocidad de paso del aire a través de ellas resultaría mayor que en las primeras, lo que conllevaría mayores vibraciones. Es por ello que se primará el uso del primer modelo de rejillas, a no ser que el caudal que tiene que introducirse desde el exterior sea demasiado elevado.

Las rejillas se repartirán por las fachadas delantera y trasera y los laterales de las naves, siempre en la parte inferior; esto, junto con el hecho de que la extracción se produzca en la parte superior, facilitará el flujo de aire en el interior.

Será necesario meter la misma cantidad de aire exterior que el caudal que se está extrayendo en la estancia.

#### Rejillas para aspiración de aire exterior en zona FORS

El caudal extraído en esta sala es de 16.581,12 m<sup>3</sup>/h.

Se utilizarán rejillas del modelo ALA, necesiándose:

$$\text{Número rejillas ventilación} = \frac{Q_{TOTAL}}{Q_{Máximo\ rejilla}} = \frac{16.581,12}{2.000} \approx 9$$

Ecuación 13. Cálculo rejillas de ventilación en la zona FORS

Hay que recordar que esta nave se encuentra dentro de la zona de triaje y clasificación, por lo que solo dispone de una pared libre de 13,6 m para la entrada de aire exterior, con lo que las **9 rejillas** se colocarán en esta pared. La distancia entre ellas será:

$$\text{Distancia entre rejillas} = \frac{L_{\text{libre}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{13,6 - 9 \times 0,390}{8} = 1,2 \text{ m}$$

### **Rejillas para aspiración de aire exterior en fosos de descarga**

---

En este caso, se dimensionan las rejillas para un caudal de 48.625,92 m<sup>3</sup>/h.

Se utilizarán rejillas del modelo ALA, con lo que el número total de rejillas a colocar será:

$$\text{Número rejillas ventilación} = \frac{48.625,92}{2.000} \approx 24$$

*Ecuación 14. Cálculo rejillas de ventilación en los fosos de descarga*

La parte trasera de esta nave es colindante a la zona de triaje y clasificación, por lo que por lo que las rejillas se repartirán entre los dos laterales, de 10,8 m, y la fachada, de 56 m. En la fachada hay que tener en cuenta que se encuentran las puertas, de un ancho de 4,5 m (por lo que únicamente se dispondrán de 42,5 m). **Se colocarán 6 rejillas en cada lateral y 12 en la fachada.** La distancia entre ellas será:

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{lateral}} = \frac{L_{\text{lateral}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{10,8 - 6 \times 0,390}{5} = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{fachada}} = \frac{L_{\text{fachada}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{42,5 - 12 \times 0,390}{11} = 3,4 \text{ m}$$

*Ecuación 15. Distancia entre rejillas de ventilación en los fosos de descarga*

### **Rejillas para aspiración de aire exterior en zona de triaje y clasificación**

---

Se dimensionan las rejillas para un caudal de 123.179,52 m<sup>3</sup>/h.

En este caso, debido al elevado caudal, se utilizarán rejillas del modelo ALA SO, con lo que el número total de rejillas a colocar será:

$$\text{Número rejillas ventilación} = \frac{123.179,52}{5.000} \approx 24$$

*Ecuación 16. Cálculo rejillas de ventilación en los fosos de descarga*

La parte delantera de esta nave está anexa a los fosos de recepción, así que en ella no se podrán colocar rejillas de ventilación. Se dispone, por tanto, de dos laterales de 58,4 m y otra pared de 56 m. Las puertas, en este caso, se encuentran repartidas entre las tres paredes. Hay una puerta de 6 m de ancho en cada pared, otra puerta de 6 m de ancho en la parte trasera, y otras dos unidades de 4,5 m de ancho en cada pared lateral. De esta manera, el espacio disponible en cada pared será:

$$\text{Espacio disponible parte trasera} = 56 - 2 \times 6 = 44 \text{ m}$$

$$\text{Espacio disponible laterales} = 58,4 - 2 \times 4,5 = 49,4 \text{ m}$$

*Ecuación 17. Cálculo del espacio disponible para la colocación de rejillas de ventilación en la zona de triaje y clasificación*

Las rejillas se repartirán de forma equitativa entre las tres superficies disponible, habiendo **8 rejillas en cada pared**.

Con todo ello, la distancia entre las rejillas será:

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{laterales}} = \frac{L_{\text{laterales}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{49,4 - 8 \times 0,625}{7} = 6,3 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{fachada}} = \frac{L_{\text{fachada}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{44,0 - 8 \times 0,625}{7} = 5,6 \text{ m}$$

*Ecuación 18. Distancia entre rejillas de ventilación en la zona de triaje y clasificación*

### **Rejillas para aspiración de aire exterior en la nave de deshidratación**

El caudal extraído en esta nave es de 115.243,52 m<sup>3</sup>/h.

En este caso, también se utiliza el modelo de rejillas ALA SO, de manera que el número necesario será:

$$\text{Número rejillas ventilación} = \frac{115.243,52}{5.000} \approx 23$$

*Ecuación 19. Número rejillas de ventilación en la nave de deshidratación*

Dado que una de las paredes de 23,6 m de esta nave se encuentra anexionada a la nave de acopio de digesto, se dispone de otra pared de esta dimensión y otras dos de 64 m para la colocación de las rejillas. Se colocarán **10 rejillas en cada uno de los laterales de 64 m, y las 3 rejillas restantes, en la fachada** que queda libre:

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{laterales}} = \frac{L_{\text{laterales}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{64 - 10 \times 0,625}{9} = 6,4 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{fachada}} = \frac{L_{\text{fachada}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{23,6 - 3 \times 0,625}{2} = 10,9 \text{ m}$$

*Ecuación 20. Distancia entre rejillas de ventilación en la nave de deshidratación*

### **Rejillas para aspiración de aire exterior en la nave de acopio de digesto**

Finalmente, en esta nave se extraen 37.042,56 m<sup>3</sup>/h.

Se utilizarán rejillas del modelo ALA para la introducción de aire exterior, con lo que se necesitarán:

$$\text{Número rejillas ventilación} = \frac{37.042,56}{2.000} \approx 18$$

*Ecuación 21. Número de rejillas de ventilación en la nave de acopio de digesto*

Un lado de esta nave está anexa a la nave anterior, por lo que se dispone de una pared de 23,6 m y otras dos de 24 m para el reparto de estas rejillas. Dado que las dimensiones son parecidas, las 18 rejillas se repartirán de manera equitativa entre las tres superficies, habiendo **6 rejillas en cada lado**. La distancia entre las mismas será:

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{laterales}} = \frac{L_{\text{laterales}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{24 - 6 \times 0,390}{5} = 4,3 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre rejillas}_{\text{fachada}} = \frac{L_{\text{fachada}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{23,6 - 6 \times 0,390}{5} = 4,2 \text{ m}$$

*Ecuación 22. Distancia entre rejillas de ventilación en la nave de acopio de digesto*

La siguiente tabla muestra a modo resumen las rejillas de ventilación que se han colocado en cada estancia:

ZONA	Número de rejillas en cada laterales	Distancia de separación entre rejillas en los laterales [m]	Número de rejillas en la fachada	Distancia de separación entre rejillas en la fachada[m]	Número total de rejillas
Zona FORS	-	-	9	1,2	9
Fosos de descarga	6	1,7	12	3,4	24
Zona de triaje y clasificación	8	6,3	8	5,6	24
Nave de deshidratación	10	6,4	3	10,9	23
Nave de acopio de digesto	6	4,3	6	4,2	18

Tabla 23. Rejillas de ventilación colocadas en las estancias a desodorizar

### 3.5.2.5. Dimensionamiento de las rejillas de extracción

Para la selección de estas rejillas, se recurre al catálogo de productos de la empresa “Manufacturas Difair Clima, S.L.” [73].

Después de analizar las diferentes tipologías de rejillas para la extracción del caudal de las diferentes estancias, se establece que la mejor opción es el modelo “CIRM-10”, ya que se trata de un tipo de rejilla específica para conductos circulares, lo cual evita la instalación de cuellos de acoplamiento para la unión entre la rejilla y el conducto.

De esta manera, en función del caudal que se quiere introducir a través de la rejilla, este catálogo ofrece diferentes dimensiones. La tabla de selección de este modelo de rejilla está disponible en el ANEXO II. CATÁLOGOS.

#### Rejillas de extracción zona FORS

En este caso, existe un solo conducto atravesado por un caudal de 16.581,12 m<sup>3</sup>/h.

Se colocarán **rejillas de dimensiones 625x225 mm**. Se escogen estas dimensiones por ser esta rejilla la que mayor caudal admite (1.600 m<sup>3</sup>/h).

El número de rejillas de extracción necesarias será:

$$\text{Número rejillas extracción} = \frac{Q_{TOTAL}}{Q_{Máximo\ rejilla}} = \frac{16.581,12}{1.600} \approx 10$$

*Ecuación 23. Número de rejillas de extracción en la zona FORS*

La distancia entre ellas será:

$$\text{Distancia entre rejillas} = \frac{L_{\text{nave}} - N \times L_{\text{rejilla}}}{N - 1} = \frac{25,4 - 10 \times 0,625}{10 - 1} = 2,1 \text{ m}$$

*Ecuación 24. Distancia entre rejillas de extracción en la zona FORS*

### **Rejillas de extracción en fosos de descarga**

---

En esta área existen 3 ramales que transportan, cada uno, un caudal de 16.208,64 m<sup>3</sup>/h.

Como el caudal es muy similar al caso anterior, se utilizarán también **rejillas de dimensiones 625x225 mm**:

$$\text{Número rejillas extracción} = \frac{16.208,64}{1.600} \approx \mathbf{10}$$

*Ecuación 25. Número de rejillas de extracción en los fosos de descarga*

Por tanto, en esta nave se contará con **30 rejillas** de estas dimensiones.

La distancia entre ellas será:

$$\text{Distancia entre rejillas} = \frac{56 - 10 \times 0,625}{10 - 1} = 5,5 \text{ m}$$

*Ecuación 26. Distancia entre rejillas de extracción en los fosos de descarga*

### **Rejillas de extracción en zona de triaje y clasificación**

---

En esta zona hay 7 ramales por los que transcurren caudales de 17.597,07 m<sup>3</sup>/h.

Se vuelven a seleccionar las dimensiones de **625x225 mm**, necesiéndose para cada conducto:

$$\text{Número rejillas extracción} = \frac{17.597,07}{1.600} \approx \mathbf{11}$$

*Ecuación 27. Número de rejillas de extracción en la zona de triaje y clasificación*

Haciendo un total de **77 rejillas**.

Estarán separadas entre sí una distancia de:

$$\text{Distancia entre rejillas} = \frac{56 - 11 \times 0,625}{11 - 1} = 4,9 \text{ m}$$

*Ecuación 28. Distancia entre rejillas de extracción en la zona de triaje y clasificación*

### **Rejillas de extracción en nave de deshidratación**

---

En esta nave hay 7 ramales extrayendo un caudal de 16.463,36 m<sup>3</sup>/h cada uno.

De nuevo, por la similitud del caudal con los anteriores, se seleccionan las **rejillas de 625x225 mm**, necesitándose:

$$\text{Número rejillas extracción} = \frac{16.463,36}{1.600} \approx \mathbf{10}$$

*Ecuación 29. Número de rejillas de extracción en la nave de deshidratación*

Haciendo un total de **70 rejillas** en la nave.

Estarán separadas la siguiente distancia entre ellas:

$$\text{Distancia entre rejillas} = \frac{23,6 - 10 \times 0,625}{10 - 1} = 1,9 \text{ m}$$

*Ecuación 30. Distancia entre rejillas de extracción en la nave de deshidratación*

### **Rejillas de extracción de la nave de acopio de digesto**

---

En esta última nave, existen 3 conductos con un caudal de 12.347,52 m<sup>3</sup>/h cada uno.

Como los caudales son menores por estos conductos, se deciden escoger rejillas con capacidad de aspirar 1.400 m<sup>3</sup>/h en vez de 1.600 m<sup>3</sup>/h, como las anteriores. Las dimensiones, sin embargo, siguen siendo las mismas, **625x225 mm**:

$$\text{Número rejillas extracción} = \frac{12.347,52}{1.400} \approx \mathbf{9}$$

*Ecuación 31. Número rejillas de extracción en la nave de acopio de digesto*

Esto hará un total de **27 rejillas** en la nave.

Por último, la distancia de separación entre ellas será:

$$\text{Distancia entre rejillas} = \frac{23,6 - 9 \times 0,625}{9 - 1} = 2,2 \text{ m}$$

La siguiente tabla recoge a modo resumen el número de rejillas colocadas en cada estancia, así como la separación entre ellas. Todas ellas tendrán unas dimensiones de 625x225 mm:

ZONA	Número de rejillas por conducto	Número de conductos	Número total de rejillas	Distancia de separación entre rejillas [m]
<i>Zona FORS</i>	10	1	10	2,1
<i>Fosos de descarga</i>	10	3	30	5,5
<i>Zona de triaje y clasificación</i>	11	7	77	4,9
<i>Nave de deshidratación</i>	10	7	70	1,9
<i>Nave de acopio de digesto</i>	9	3	27	2,2

Tabla 24. Número de rejillas de extracción en cada estancia

### 3.5.2.6. Selección extractores

Se elegirán extractores centrífugos para impulsar el caudal por los conductos de ventilación, ya que tienen la capacidad de tratar caudales a altas temperaturas y que presentan una elevada concentración de contaminantes, como es el caso.

Se recurre al catálogo de extractores centrífugos industriales de la empresa SODECA [74] para seleccionar los extractores más adecuados para los casos analizados.

Según el caudal que atraviese cada conducto, se seleccionará un modelo u otro de extractor.

La siguiente tabla muestra los extractores seleccionados para cada conducto. Los catálogos de estos modelos pueden encontrarse en el *ANEXO II. CATÁLOGOS*.

	Tipo de conducto	Número de conductos	Caudal por conducto [m <sup>3</sup> /h]	Modelo extractor	Caudal máximo extractor [m <sup>3</sup> /h]	Número de extractores por conducto	Número extractores totales
Zona FORS	Ramales interiores	1	16.581,12	CMR-2271-8T	17.360	1	1
Fosos de descarga	Ramales interiores	3	16.208,64	CMP-2050-4T-20 IE3	16.500	1	3
	Conducto total + caudal zona FORS	1	65.207,04	CMR-2271-4T IE3	34.610	2	2
Zona triaje y clasificación	Ramales interiores	7	17.597,07	CMR-1650-2T IE3	18.850	1	7
	Conducto total	1	123.179,52	CMR-2590-4T IE3	54.000	2	2
				CMR-1856-4T IE3	15.150	1	1
Nave de deshidratación	Ramales interiores	7	16.463,36	CMP-2050-4T-20 IE3	16.500	1	7
	Conducto total	1	115.243,52	CMR-2590-4T IE3	54.000	2	2
				CMR-1135-2T IE3	7.800	1	1
Nave acopio de digesto	Ramales interiores	3	12.347,52	CMP-2050-4T-15 IE3	12.525	1	3
	Conducto total	1	37.042,56	CMR-1650-2T IE3	18.850	2	2

Tabla 25. Extractores escogidos para los conductos de ventilación

### 3.5.3. Dimensionamiento del sistema de desodorización

Se ha calculado que, con la introducción del nuevo sistema de extracción, el caudal que se trataría sería de **340.672,64 m<sup>3</sup>/h**.

A continuación, se procede a plantear un sistema de desodorización que permita tratar este elevado caudal.

El sistema de desodorización existente cuenta con un biofiltro cuadrado que únicamente trata el caudal de las naves de deshidratación y de acopio de digesto, de 44.367 m<sup>3</sup>/h.

Como se ha indicado en el *Apartado 3.3*, se detectan los siguientes concentraciones de contaminantes en la Planta:

- NH<sub>3</sub>: 10 ppm.
- H<sub>2</sub>S: 10 ppm.
- R-SH: 2,5 ppm.

Estas concentraciones resultan muy bajas. El problema es que, la sensibilidad olfativa de las personas es tan elevada, que puede detectar estos contaminantes incluso en concentraciones reducidas, como es el caso, ocasionando perjuicios psicológicos.

En la *Tabla 7* se comparan los diferentes sistemas de desodorización analizados.

A la hora de escoger el sistema más adecuado, hay que tener en cuenta las características del aire que se va a tratar en la Planta.

Hay tres sistemas que se descartan directamente por sus características:

- **Adsorción por carbón activo.** Estos sistemas son adecuados para la eliminación de contaminantes como el cloro y el ozono, por lo que no son especialmente útiles en esta situación.
- **Sistemas generadores de ozono.** A pesar de contar con un elevado potencial de cara a futuro, la realidad es que, a día de hoy, estos sistemas no están suficientemente desarrollados para ser implementados con las suficientes garantías.
- **Quemadores de gas residual.** Quedan descartados por su elevado consumo de combustible.

Descartando estos sistemas, únicamente quedarían dos opciones:

- **Torres de absorción por lavado químico.** Estos sistemas tratan contaminantes como azufre o amoníaco. El problema es que son adecuados para caudales pequeños, y suelen funcionar siempre como tecnologías complementarias a otros sistemas de desodorización, ya que sus rendimientos rondan el 60%.
- **Sistemas de biofiltración.** Son adecuados para eliminar bajas concentraciones de contaminantes y para tratar caudales muy altos de corrientes gaseosas.

Según lo expuesto en estos dos puntos anteriores, **la biofiltración es la solución que mejor se adapta a la problemática existente.** No tendría sentido implementar un sistema de absorción química por dos razones principalmente: por la baja concentración de contaminantes y por el altísimo caudal que requiere de tratamiento. Sería necesario instalar un elevado número de torres de lavado, lo cual tampoco introduciría mejoras significativas dada su limitada eficiencia, y esto

no evitaría tener que instalar complementariamente un sistema de biofiltración. Además, las torres de lavado son especialmente útiles ante compuestos hidrosolubles; teniendo en cuenta que el amoníaco es poco soluble en agua, no se podría eliminar este contaminante a través de este sistema.

Tiene más sentido, pues, instalar únicamente biofiltros para el tratamiento del aire generado en la Planta, ya que proponer la introducción de scrubbers de absorción química provocaría un coste extra que no proporcionaría mejoras reales. La biofiltración puede asumir por sí sola las exigencias existentes consiguiendo elevados rendimientos. Además, el uso de un único tipo de sistema de desodorización facilita tanto su dimensionamiento como su mantenimiento posterior.

El siguiente paso es decidir cómo se va a disponer la biofiltración.

La *Tabla 17* muestra los diferentes caudales que se van a tratar en cada estancia, siendo el total de 340.672,64 m<sup>3</sup>/h.

Se van a plantear dos opciones para la desodorización:

- **Implantación de un único biofiltro**, también cuadrado, que trate la totalidad del caudal de la Planta.
- **Implantación de tres biofiltros**, todos cuadrados, para repartir el caudal extraído entre ellos. El reparto del caudal se realizaría de la siguiente manera:
  - Un biofiltro que tratase el caudal procedente de los fosos de descarga, la zona FORS y la nave de acopio (102.249,60 m<sup>3</sup>/h). La tasa de emisión total de estas tres zonas es de 35.028 uo<sub>E</sub>/s.
  - Otro biofiltro para el caudal extraído de la zona de triaje y clasificación (123.179,52 m<sup>3</sup>/h), con una tasa de emisión de 12.591 uo<sub>E</sub>/s.
  - Un último biofiltro que reciba el caudal de la nave de deshidratación (115.243,52 m<sup>3</sup>/h), con una tasa de emisión de 69.111 uo<sub>E</sub>/s.

Este reparto pretende que los tres biofiltros asuman caudales aproximadamente iguales, de manera que no haya grandes diferencias entre ellos.

La siguiente figura muestra una vista de pájaro de la Planta de Biometanización de Las Dehesas:



Figura 60. Vista de pájaro de la Planta de Biometanización de Las Dehesas [6] [75]

A la vista de esta imagen, pueden verse cómo existen numerosos espacios en las dependencias de la Planta para la colocación de biofiltros. A continuación, se pueden ver en color verde dichos espacios disponibles:



Figura 61. Espacios disponibles en la Planta de Biometanización de Las Dehesas para la instalación de biofiltros [6] [75]

La superficie señalada con el número 1, cuenta con aproximadamente 1.680 m<sup>2</sup> repartidos de manera desigual. La superficie número 2 es en la que se encuentra el biofiltro actual, es decir, tiene una extensión de 280 m<sup>2</sup>. Por último, la superficie 3, presenta aproximadamente la misma superficie que la anterior.

**En ambas propuestas se va a optar por biofiltros de tecnología avanzada**, descritos en el *Apartado 2.7.2.3*, ya que presentan las mayores eficiencias en eliminación de olores.

Además, es importante recordar que previo a la entrada en el biofiltro, el caudal tiene que atravesar un pre-humidificador para alcanzar unas condiciones óptimas de temperatura (en torno a los 25°C)

y humedad (entre 40 y 60%). El pre-humidificador utilizará agua limpia, ya que no es aconsejable el uso de agua sin depurar por la posibilidad de que esta contamine aún más el caudal de aire, que estará formado por un cilindro que pulverizará esta agua sobre la corriente de aire.

En ambas propuestas se contempla la **destrucción del biofiltro existente actualmente**.

El **proceso a seguir en el diseño del biofiltro** es el siguiente [6] [76]:

1. **Selección del material de relleno más adecuado.** El espesor de este relleno será de 1 m por tratarse de relleno principalmente inorgánico mezclado con medio orgánico. Después de la búsqueda de bibliografía y estudios previos relacionados con la biofiltración avanzada, se comprueba que los materiales que mejor responden son la **arcilla**, más concretamente expandida (medio inorgánico) y una **mezcla de berza y turba** (medio orgánico), por lo que se decide emplear estos mismos materiales en ambas propuestas de biofiltración. Las características detalladas de la arcilla utilizada se describen en el *ANEXO CATÁLOGOS*.
2. El principal criterio de diseño es la **selección de la velocidad de paso del caudal a tratar a través del biofiltro**, también conocido como ratio de biofiltración. En biofiltros avanzados, este valor se encuentra entre 125 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h (para altas concentraciones) y 150 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h (para concentraciones menores). A partir de este parámetro puede **determinarse la superficie del biofiltro**:

$$\text{Superficie biofiltro}[m^2] = \frac{\text{Caudal } [m^3/h]}{\text{Velocidad de paso } [m^3/m^2/h]}$$

*Ecuación 33. Cálculo de la superficie del biofiltro*

Si la superficie necesaria es muy grande y no es suficiente con el espacio disponible, se puede plantear repartir esta superficie en varios pisos.

3. **Cálculo del volumen del biofiltro** de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Volumen relleno } [m^3] = \text{Altura del relleno}[m] \times \text{Superficie del biofiltro}[m^2]$$

*Ecuación 34. Cálculo del volumen del biofiltro*

4. Cálculo de la **concentración de contaminantes a la salida** a partir del rendimiento. Al tratarse de tecnología avanzada, se establece que los biofiltros, en ambas propuestas, tendrán un rendimiento del 95%:

$$C_S = C_e \times \left(1 - \frac{\eta}{100}\right)$$

*Ecuación 35. Cálculo de la concentración de contaminantes a la salida del biofiltro*

Siendo:

- $C_S$ : concentración de contaminantes a la salida del biofiltro.
- $C_e$ : concentración de contaminantes a la entrada del biofiltro.
- $\eta$ : rendimiento del biofiltro. Se fija en el 95%.

5. Al tratarse de un biofiltro de tipo percolador, un goteo constante alimenta el biofiltro para mantener las condiciones óptimas para los microorganismos. Es por ello que, como parte del diseño, se debe determinar este **caudal de agua**. Se va a suponer que el caudal de aire que se va a tratar es aire seco, por lo que podrá tratarse como un gas ideal.

- a. Primero, hay que calcular las condiciones del aire a la entrada y a la salida del biofiltro. Para ello, se fija la temperatura en ambos puntos. Como parámetro de diseño, se va a establecer que la temperatura a la entrada del biofiltro, en ambas propuestas, es de 25°C, y a la salida, de 35°C. A partir de ello, se determina la densidad del aire en la entrada y la salida:

$$\rho_{Aire} = \frac{P}{RT} \times PM$$

*Ecuación 36. Ecuación de los gases ideales*

Siendo:

- $\rho_{Aire}$ : densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>].
- P: presión, típicamente igual a 1 atm.
- R: constante de los gases ideales. 0,082 [ $\frac{atm \cdot L}{g \cdot mol \cdot K}$ ].
- T: temperatura [K].
- PM: peso molecular del aire: 29,9 [g/gmol].

- b. Una vez calculadas las densidades a la entrada y la salida del biofiltro, se determina el flujo másico de aire en ambos puntos:

$$Flujo \text{ másico } [kg/h] = \rho_{Aire} \times Caudal$$

*Ecuación 37. Cálculo flujo másico de la corriente a tratar*

- c. Se recurre al diagrama psicrométrico del *ANEXO I. CÁLCULOS* para, a partir de las condiciones en la entrada y en la salida, hallar las humedades específicas, teniendo en cuenta que el aire estará saturado de humedad tanto a la entrada como a la salida (a la entrada del biofiltro, estará saturado de humedad ya que acaba de salir del pre-humidificador, y a la salida, esta saturación se mantiene, ya que sobre el biofiltro hay un goteo continuo de agua). Esto permitirá determinar el caudal de agua en estos puntos y, por tanto, el caudal de agua requerido en el biofiltro:

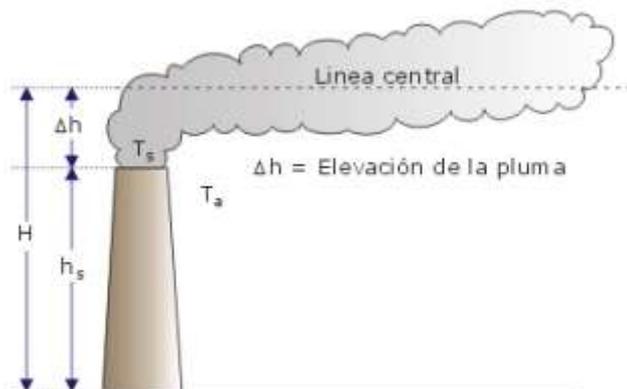
*Agua requerido*

$$= \text{Humedad específica}_{\text{salida}} \times \text{Flujo másico}_{\text{salida}} - \text{Humedad específica}_{\text{entrada}} \times \text{Flujo másico}_{\text{entrada}}$$

*Ecuación 38. Cálculo del caudal de agua requerido por el biofiltro*

6. Cálculo de la **altura de la chimenea** por la que va a salir el gas desodorizado y determinación de la concentración de contaminantes en el punto de inmisión. Para ello, se va a recurrir a las **Ecuaciones de Gribbs**.

Antes se deben definir una serie de parámetros:



*Figura 62. Altura constructiva (h), altura efectiva (H) y altura del penacho(Δh) [77]*

Se considera que la **atmósfera** alrededor del Parque Tecnológico de Valdmingómez es **neutral**, por lo que la dispersión del penacho tendrá la siguiente forma:

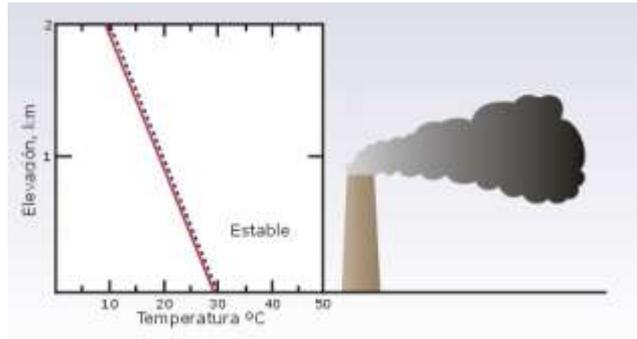


Figura 63. Dispersión del penacho en una atmósfera neutra [77]

- a. Para comenzar con el dimensionamiento, se escoge un **valor de altura constructiva de la chimenea (h)**.
- b. **Cálculo sección de la chimenea:**

$$Sección = \frac{Q \times (273 + T_s)}{273 \times v_s \times d}$$

Ecuación 39. Cálculo sección chimenea [78]

Siendo:

- Q: caudal de aire que sale por la chimenea [kg/s].
  - Ts: temperatura de salida de los gases por la chimenea. Será igual que la temperatura de salida del biofiltro [K].
  - Vs: velocidad de salida de los gases por la chimenea. Se establece un valor de 10 m/s, por ser un valor típico en chimeneas industriales [m/s].
  - d: densidad del aire que sale por la chimenea. La misma que la densidad a la salida del biofiltro [kg/m<sup>3</sup>].
- c. A partir de las **Ecuaciones de Briggs** [77], se calculan:
    - El flujo de flotación:

$$F = g \times v_s \times r^2 \times \frac{T_s - T_a}{T_s}$$

Ecuación 40. Cálculo del flujo de flotación [77]

Siendo:

- g: gravedad. 9,8 m/s<sup>2</sup>.
- r: radio de la chimenea en metros. Se obtiene a partir de su sección.

- $T_a$ : temperatura ambiente [K]. Se establece la temperatura media en Madrid, que es de 15,9°C.
- La distancia hasta el final de la elevación de la columna en dirección del viento:

$$x_m[m] = \begin{cases} 49 \times F^{5/8} & \text{si } F < 55 \\ 119 \times F^{2/5} & \text{si } F > 55 \end{cases}$$

*Ecuación 41. Cálculo distancia hasta el final de la elevación de la columna en dirección del viento [79]*

- La altura del penacho:

$$\Delta h = \frac{1,6 \times F^{1/3} \times x_m^{2/3}}{U}$$

*Ecuación 42. Cálculo de la altura del penacho [77]*

- d. Cálculo de la **concentración de contaminantes en el punto de inmisión**. Se conocerá la concentración de contaminantes en el caudal de salida del biofiltro, que será la misma que a la salida de la chimenea. Como punto de inmisión, se tomará el Barrio de Vallecas, por ser el más próximo a la Planta de Biometanización de Las Dehesas, a unos 4,5 km de la misma. Por último, se establece como concentración máxima de contaminantes en el punto de inmisión, el 50% de la concentración a la salida del biofiltro.

A partir de todo esto, y habiendo hallado todos los parámetros anteriores, se calcula la concentración en el punto de inmisión, que no podrá superar el 50% de la concentración a la salida del biofiltro. Si fuese así, habría que seguir un proceso iterativo hasta encontrar una altura de chimenea con la que obtener una concentración adecuada en el punto de inmisión.

La siguiente expresión, que se obtiene de la Distribución Gaussiana, solo puede aplicarse en atmósferas neutras y topografía sin mucho relieve, como es el caso:

$$C[g/m^3] = \frac{Q_{\text{contaminante}}}{2\pi \cdot U \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e^{\left(\frac{-1}{2} \cdot \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)} \cdot \left( e^{\left(\frac{-1}{2} \cdot \left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right)} + e^{\left(\frac{-1}{2} \cdot \left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right)} \right)$$

*Ecuación 43. Cálculo de la concentración de contaminantes en el punto de inmisión [77]*

Siendo:

- $Q_{\text{contaminante}}$ : cantidad de contaminante en el caudal de salida [g/s].
- $U$ : velocidad del viento en m/s. Se toma la velocidad media anual del viento en Madrid, 9,8 km/h.

- $\sigma_y$ : coeficiente de dispersión horizontal.
- $\sigma_z$ : coeficiente de dispersión vertical.

Para hallar estos dos valores se recurre a las **Ecuaciones de Martin**:

$$\sigma_y[m] = a \cdot x^{0,894}$$

$$\sigma_z[m] = c \cdot x^d + f$$

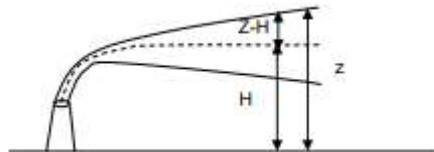
*Ecuación 44. Ecuaciones de Martin [77]*

Donde  $x$  es la distancia al punto de inmisión, en km, siendo en este caso 4,5 km. El resto de parámetros se obtienen de la siguiente tabla, teniendo en cuenta que se ha considerado una atmósfera neutra, denotada con la letra D:

Estabilidad	$X \leq 1$ km				$X \geq 1$ km		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440,8	1,941	9,27	459,7	2,094	-9,6
B	156	106,6	1,149	3,3	108,2	1,098	2,0
C	104	61,0	0,911	0	61,0	0,911	0
D	68	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13,0
E	50,5	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34,0
F	34	14,35	0,740	-0,35	62,6	0,180	-48,6

*Tabla 26. Parámetros de las Ecuaciones de Martin*

- $z$ : se establece que el valor de  $Z-H$  sea el mismo que el valor que toma el penacho.
- $y$ : para simplificar los cálculos, se toma este valor como 0, analizando el penacho en 2 dimensiones.



### 3.5.3.1. Propuesta 1: implantación de un único biofiltro

En este primer caso, el **caudal a tratar sería de 340.672,64 m<sup>3</sup>/h**, y la **tasa de emisión de 141.013 uo<sub>E</sub>/s**. La concentración de contaminantes será más elevada, ya que se mezclan los caudales procedentes de todas las estancias de la planta.

Es por ello que se decide escoger como **criterio de diseño un ratio de biofiltración igual a 125 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h.**

Los cálculos detallados, en función de los pasos del diseño descritos anteriormente, se recogen en el *ANEXO I. CÁLCULOS*.

Teniendo en cuenta que el biofiltro con el que cuenta actualmente la planta es de 280 m<sup>2</sup>, la superficie que se necesitaría es mucho más elevada. Según la *Figura 61*, no hay ningún espacio disponible con una extensión de 2.276 m<sup>2</sup>. La superficie 1, en su parte rectangular, cuenta aproximadamente con 1.400 m<sup>2</sup>, así que podría emplazarse aquí el biofiltro.

Para hacer esto posible, habrá que repartir la superficie total necesaria en **2 pisos**.

Las **dimensiones finales del biofiltro serán de 18x63 m, es decir, 1.134 m<sup>2</sup>, y cada piso contará con un volumen de relleno de 1.134 m<sup>3</sup>.**



*Figura 64. Emplazamiento del biofiltro. Propuesta 1 [6] [75]*

El caudal extraído de las diferentes estancias de la Planta, por tanto, irás a parar al humidificador desde sus respectivos conductos de ventilación, dimensionados en el *Apartado 3.5.2.3*. Habrá que diseñar, adicionalmente, un conducto por el que vaya el caudal de la zona FORS y de los fosos de descarga junto el de la nave de acopio, un total de 102.249,60 m<sup>3</sup>/h. Siguiendo el mismo procedimiento que en el Apartado mencionado, se tendría:

	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Conducto total</b>	102.249,60	10,0	1,9

*Tabla 27. Diseño del conducto del caudal de la zona FORS y los fosos de descarga*

Una vez el caudal haya pasado por el pre-humidificador, se dirige al biofiltro. El caudal total se reparte de forma equitativa entre los dos pisos del mismo, destinando 170.336,32 m<sup>3</sup>/h a cada uno:

- Caudal de la zona FORS y los fosos de descarga, junto con el de la nave de acopio y el 55% del caudal de la zona de triaje y clasificación se introducirán en el primer piso.
- El caudal restante de la zona de triaje y clasificación y el de la nave de deshidratación, se destinan al segundo piso.

	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Conducto a cada piso</b>	170.336,32	12,5	2,2

*Tabla 28. Reparto del caudal entre los pisos del biofiltro. Propuesta 1*

En cuanto a la cantidad de agua destinada a la humidificación del biofiltro, también calculado en el *ANEXO I. CÁLCULOS*, se obtiene un valor de 3,68 m<sup>3</sup>/h.

Una vez dimensionado el biofiltro, se procede al diseño de la chimenea para la expulsión del caudal desodorizado. Los cálculos detallados de esta chimenea se pueden comprobar en el *ANEXO I. CÁLCULOS*.

Se toma una altura de chimenea de 3 m, con lo que se obtiene un radio de 1,84 m. Con ello, se conseguirá una **concentración de contaminantes en el punto de inmisión será de 0,7183 µg/m<sup>3</sup>**.

---

### 3.5.3.2. Propuesta 2: implantación de tres biofiltros

---

Para esta segunda propuesta se plantea la construcción de tres biofiltros diferentes para cada estancia a desodorizar.

El **primer biofiltro** tratará el caudal procedente de los fosos de descarga, la zona FORS y la nave de acopio. La tasa de emisión total de estas tres zonas es de 35.028 uo<sub>E</sub>/s.

El **segundo biofiltro** se encargará de la zona de triaje y clasificación, con una tasa de emisión de 12.591 uo<sub>E</sub>/s.

Finalmente, el **último biofiltro**, a cargo de la nave de deshidratación, trataría un caudal con una tasa de emisión de 69.111 uo<sub>E</sub>/s.

A la vista de estas tasas de emisión, y teniendo en cuenta que todas ellas son menores que la tasa de emisión total de la Propuesta 1, se eligen ratios de biofiltración comprendidos entre 125 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h:

- En el **primer biofiltro**, se decide como parámetro de diseño que la velocidad de paso sea de **145 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h**.
- En el **segundo**, que este ratio sea de **150 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h**, debido a la menor tasa de emisión en este caso.
- Por último, para el **tercero** se establece un valor de **140 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h**.

De esta manera, se obtienen los siguientes resultados, a partir de las ecuaciones descritas anteriormente. En este caso, el cálculo detallado puede comprobarse en el *ANEXO I. CÁLCULOS*.

- Biofiltro 1
  - Superficie: 706 m<sup>2</sup>.
  - Volumen relleno: 706 m<sup>3</sup>.
  - Caudal de agua requerido: 1,10 m<sup>3</sup>/h.
- Biofiltro 2
  - Superficie: 822 m<sup>2</sup>.
  - Volumen relleno: 822 m<sup>3</sup>.
  - Caudal de agua requerido: 1,33 m<sup>3</sup>/h.
- Biofiltro 3
  - Superficie: 824 m<sup>2</sup>.
  - Volumen relleno: 824 m<sup>3</sup>.
  - Caudal de agua requerido: 1,24 m<sup>3</sup>/h.

La idea de proponer tres biofiltros pretende que, cada uno de ellos, se encuentre próximo a la estancia que trata. Además, se pretende que la planta de los mismos sea de dimensiones similares a la del biofiltro existente (280 m<sup>2</sup>). Para ello, habrá que repartir la superficie total en varios pisos, más concretamente en 3; de otra manera, se ocuparía un tamaño excesivo.

Las dimensiones finales de los biofiltros serán:

- Biofiltro 1
  - Superficie por planta: 234 m<sup>2</sup>.
  - Volumen relleno por planta: 234 m<sup>3</sup>.
  - Dimensiones: 18x13 m.
- Biofiltro 2
  - Superficie por planta: 270 m<sup>2</sup>.
  - Volumen relleno por planta: 270 m<sup>3</sup>.
  - Dimensiones: 18x15 m.
- Biofiltro 3
  - Superficie por planta: 270 m<sup>2</sup>.
  - Volumen relleno por planta: 270 m<sup>3</sup>.
  - Dimensiones: 18x15 m.

La instalación de estos biofiltros se produciría en los siguientes lugares:



Figura 65. Emplazamiento de los biofiltros. Propuesta 2 [6] [75]

Al igual que en la primera propuesta, los caudales tienen que pasar por un pre-humidificador antes de entrar en el biofiltro. En este caso, existirán tres pre-humidificadores, uno para cada biofiltro.

En el caso del biofiltro 1, el diámetro del conducto aparece en la *Tabla 27*. El resto de conductos se han calculado en el *Apartado 3.5.2.3*.

Después de los pre-humidificadores, los caudales se repartirán entre los tres pisos de los biofiltros de manera equitativa, de manera que los conductos se ramificarán en tres:

<b>PROPUESTA 2. BIOFILTRO 1</b>			
	<b>Caudal por conducto [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Conducto total</b>	102.249,60	10,0	1,9
<b>Conducto a piso 1</b>	34.083,20	8,5	1,2

<b>Conducto a piso 2</b>	34.083,20	8,5	1,2
<b>Conducto a piso 3</b>	34.083,20	8,5	1,2

Tabla 29. Reparto del caudal entre los pisos del biofiltro 1. Propuesta 2

**PROPUESTA 2. BIOFILTRO 2**

	<b>Caudal por conducto [m3/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Conducto total</b>	123.179,52	12,0	1,9
<b>Conducto a piso 1</b>	41.059,84	9,5	1,2
<b>Conducto a piso 2</b>	41.059,84	9,5	1,2
<b>Conducto a piso 3</b>	41.059,84	9,5	1,2

Tabla 30. Reparto del caudal entre los pisos del biofiltro 2. Propuesta 2

**PROPUESTA 2. BIOFILTRO 3**

	<b>Caudal por conducto [m3/h]</b>	<b>Velocidad de paso [m/s]</b>	<b>Diámetro de conducto [m]</b>
<b>Conducto total</b>	115.243,52	12,0	1,8
<b>Conducto total</b>	38.414,51	9,5	1,2
<b>Conducto total</b>	38.414,51	9,5	1,2
<b>Conducto total</b>	38.414,51	9,5	1,2

Tabla 31. Reparto del caudal entre los pisos del biofiltro 3. Propuesta 2

En este caso, cada biofiltro presentaría su propia chimenea:

- Biofiltro 1
  - Altura chimenea: 3 m.
  - Radio chimenea: 1,01 m.
- Biofiltro 2
  - Altura chimenea: 3 m.
  - Radio chimenea: 1,11 m.
- Biofiltro 3
  - Altura chimenea: 3 m.
  - Radio chimenea: 1,07 m.

Con ello, la concentración de **contaminantes en el punto de inmisión estaría entorno a los 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Los cálculos detallados pueden verse en el *ANEXO I. CÁLCULOS*.

---

### 3.5.3.3. Elementos comunes a ambas propuestas

---

Además de lo ya mencionado, en ambas propuestas habrá una serie de elementos comunes, como son:

- Se tendrán en cuenta ciertos aspectos constructivos a la hora de la construcción de los biofiltros, como el soporte del biofiltro, que será una parrilla con alta resistencia mecánica capaz de soportar altos pesos.
- Conductos para la humidificación del biofiltro de manera uniforme en todo el espacio ocupado por el relleno.
- Adición de productos químicos que permitan mantener un pH neutro dentro del biofiltro.
- Adición de fungida en el biofiltro para evitar la aparición descontrolada de hongos y otros microorganismos no deseados.

Teniendo en cuenta que estos biofiltros tienen una eficacia de aproximadamente el 95%, las concentraciones a la salida de los mismos serán, empleando la *Ecuación 35*:

$$C_S = 10 \times \left(1 - \frac{95}{100}\right) = 0,5 \text{ ppm} = 1,39 \text{ mg}/\text{m}^3$$

*Ecuación 45. Concentración de  $\text{NH}_3$  a la salida del biofiltro*

$$C_S = 10 \times \left(1 - \frac{95}{100}\right) = 0,5 \text{ ppm} = 2,78 \text{ mg}/\text{m}^3$$

*Ecuación 46. Concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  a la salida del biofiltro*

$$C_S = 2,5 \times \left(1 - \frac{95}{100}\right) = 0,125 \text{ ppm}$$

*Ecuación 47. Concentración de R-SH a la salida del biofiltro*

---

---

## 4. VALORACIÓN ECONÓMICA

---

---

En este estudio económico se valora, de manera general, el precio aproximado que supondría la implementación de las medidas propuestas.

---

### COSTE SISTEMA DE EXTRACCIÓN

---

En este apartado se contempla el coste de diversos elementos que conforman esta red, como las rejillas de extracción las rejillas de ventilación y los extractores.

- Rejillas de extracción [80]. Presentan un coste aproximado de 23,84 €/unidad.
- Rejillas de ventilación [80]:
  - Modelo ALA: 33,84 €/unidad.
  - Modelo ALA SO: 38,97 €/unidad
- Extractores [81]:
  - Modelos CMP:
    - CMP-2050-4T-15 IE3: 2.650,90 €/unidad.
    - CMP-2050-4T IE3: 3.087,55 €/unidad.
  - Modelo CMR:
    - CMR-1135-2T IE3: 1.368,65 €/unidad.
    - CMR-1650-2T IE3: 3.382,45 €/unidad.
    - CMR-1856-4T IE3: 2.475,35 €/unidad.
    - CMR-2271-4T IE3: 4.230,40 €/unidad.
    - CMR-2271-8T: 3.563,50 €/unidad.
    - CMR-2590-4T IE3: 9.375,95 €/unidad.

		Número de rejillas tipo	Precio unitario [€/ud]	Precio por estancia [€]
<b>REJILLAS DE EXTRACCIÓN</b>	Zona FORS	10	23,84	238,40
	Fosos de descarga	30		715,20
	Zona de triaje y clasificación	77		1.835,68
	Nave de deshidratación	70		1.668,80
	Nave de acopio de digesto	27		643,68
	<b>Total</b>	<b>214</b>		<b>5.101,76</b>
<b>REJILLAS PARA VENTILACIÓN</b>	Zona FORS	9	33,84	304,56
	Fosos de descarga	24	33,84	812,16
	Zona de triaje y clasificación	24	38,97	935,28
	Nave de deshidratación	23	38,97	896,31
	Nave de acopio de digesto	18	33,84	609,12
	<b>Total rejillas ALA</b>	<b>51</b>	<b>33,84</b>	<b>1.725,84</b>
	<b>Total rejillas ALA SO</b>	<b>47</b>	<b>38,97</b>	<b>1.831,59</b>
<b>EXTRACTORES</b>	CMP-2050-4T-15 IE3	3	2.650,90	7.952,70
	CMP-2050-4T-20 IE3	10	3.087,55	30.875,50
	CMR-1135-2T IE3	1	1.368,65	1.368,65
	CMR-1650-2T IE3	9	3.382,45	30.442,05
	CMR-1856-4T IE3	1	2.475,35	2.475,35
	CMR-2271-4T IE3	2	4.230,40	8.460,80
	CMR-2271-8T	1	3.563,50	3.563,50
	CMR-2590-4T IE3	4	9.375,95	37.503,80
	<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>-</b>	<b>122.642,35</b>
<b>TOTAL</b>				<b>131.301,54</b>

Tabla 32. Análisis económico red de ventilación y extracción

### COSTE BIOFILTROS

En este caso, el precio variará de una propuesta a otra.

Como relleno se utiliza principalmente arcilla expandida mezclada con poca cantidad de berza y turba, que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

Se escoge una arcilla expandida cuyo tamaño de grano estará comprendido entre 8 y 20 mm, y como fabricante se selecciona BigMat [82], que establece un precio de 0,42 €/kg.

Será necesario convertir el volumen de relleno a kg con la densidad de la arcilla expandida, que es de 380 kg/m<sup>3</sup>.

	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2		
		Biofiltro 1	Biofiltro 2	Biofiltro 3
<b>Volumen de relleno [m3]</b>	1.134	702	810	810
<b>Densidad relleno [kg/m3]</b>	389			
<b>Peso del relleno [kg]</b>	441.126	273.078	315.090	315.090
<b>Precio relleno [€/kg]</b>	0,42			
<b>Precio total [€]</b>	<b>185.272,92</b>	114.692,76	132.337,80	132.337,80
		<b>379.368,36</b>		

*Tabla 33. Precio del relleno del biofiltro en las diferentes propuestas*



---

---

## 5. CONCLUSIONES

---

---

Tras la finalización de este Trabajo, se analizan las diferentes conclusiones que pueden obtenerse a partir del mismo.

Por una parte, en relación a la generación de residuos y a la situación a nivel europea y nacional. España tiene aún mucho recorrido que recorrer para cumplir los objetivos establecidos por la Unión Europea y situarse al mismo nivel que el resto de los estados miembros. Esto es un trabajo que pasa por una mayor concienciación ciudadana, así como por un mayor esfuerzo para reducir el porcentaje de residuos que son depositados en vertederos. Sin embargo, el hecho de que España siga encontrándose a la cola de la Unión Europea en esta materia, no quiere decir que Europa tenga también que seguir trabajando para mejorar las perspectivas y previsiones de mejora.

También parece claro concluir que es realmente necesaria la elaboración de una legislación clara que permita regular las emisiones de contaminantes causantes de malos olores. Esto permitiría un mayor control de estas emisiones, lo que facilitaría la adopción de medidas eficaces para mejorar la situación de tantas personas que se ven afectadas por este problema.

Por otra parte, en relación a las diferentes técnicas de desodorización existentes, en este Trabajo se han mencionado cinco:

- Desodorización por absorción química.
- Desodorización por adsorción con carbón activo.
- Biofiltración.
- Desodorización con ozono.
- Quemadores de gas residual.

Después de haber analizado la tipología de cada uno de estos sistemas, se puede concluir que las dos últimas tecnologías, los sistemas de ozono y los quemadores de gas residual, no tienen un uso extendido en la eliminación de olores. El primer sistema, por no estar suficientemente desarrollado; presenta un gran potencial, pero aún no está lo suficientemente consolidado para ser

implementado con garantías. En cuanto al segundo sistema, favorece la desaparición de COV's a cambio de la generación de otros contaminantes, con lo que no resulta lógico su uso.

Por último, se concluyen los siguientes aspectos relacionados con el dimensionamiento del sistema de desodorización para la Planta de Biometanización de Las Dehesas.

Se han contemplado dos propuestas: la primera, consistente en la implementación de un único biofiltro para toda la Planta, y la segunda, en el uso de tres biofiltros que traten menores caudales.

Según la valoración económica desarrollada, el coste de la primera propuesta es un 48,8% menor que el de la segunda. Sin embargo, la segunda propuesta presenta una mayor reducción de contaminantes que la primera: en el primer caso la concentración de contaminantes que alcanzan la población más cercana a la Planta (Vallecas), es de  $0,718 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que, en el segundo caso, esta concentración se reduce hasta los  $0,503 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Teniendo en cuenta la elevada sensibilidad olfativa con la que contamos las personas, y buscando siempre ante todo la mejora de la vida de las condiciones de vida de los núcleos urbanos próximos al Parque, la solución adoptada sería la de la implementación de tres biofiltros en la Planta que se repartiesen el caudal extraído total.



### CÁLCULO DIMENSIONAMIENTO BIOFILTROS

		PROPUESTA 1	PROPUESTA 2		
			Biofiltro 1	Biofiltro 2	Biofiltro 3
	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	340.672,64	102.249,60	123.179,52	115.243,52
	Velocidad de paso [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h]	125	145	150	140
	Superficie biofiltro [m <sup>2</sup> ]	2.726	706	822	824
	Altura relleno [m]	1			
	Volumen relleno [m <sup>3</sup> ]	2.726	706	822	824
	Constante de los gases ideales [atmL/gmolK]	0,082			
	Peso molar del aire [g/gmol]	29,9			
Condiciones Entrada	Temperatura aire entrada biofiltro [K]	298			
	Presión aire entrada biofiltro [atm]	1			
	Densidad aire entrada biofiltro [kg/m <sup>3</sup> ]	1,22			
	Flujo másico de aire entrada biofiltro [kg/h]	416.848,58	125.113,07	150.723,02	141.012,49
	Humedad relativa entrada biofiltro [kg vapor/kg aire seco]	0,0202			
Condiciones Salida	Temperatura aire salida biofiltro [K]	308			
	Presión aire salida biofiltro [atm]	1			
	Densidad aire salida biofiltro [kg/m <sup>3</sup> ]	1,18			
	Flujo másico de aire salida biofiltro [kg/h]	403.314,54	121.050,96	145.829,41	136.434,16
	Humedad relativa salida biofiltro [kg vapor/kg aire seco]	0,03			
	Agua requerido biofiltro [L/h]	3.679,09	1.104,24	1.330,28	1.244,57
	Agua requerido biofiltro [m <sup>3</sup> /h]	3,68	1,10	1,33	1,24

*Tabla 34. Cálculos dimensionamiento biofiltros*

### CÁLCULOS DIMENSIONAMIENTO CHIMENEAS

	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2		
		Biofiltro 1	Biofiltro 2	Biofiltro 3
Caudal de salida [kg/s]	112,03	33,63	40,51	37,90
Velocidad por chimenea [m/s]	10			
Sección [m <sup>2</sup> ]	10,68	3,20	3,86	3,61
Radio chimenea [m]	1,84	1,01	1,11	1,07
Concentración contaminantes en caudal [mg/m <sup>3</sup> ]	4,17			
Cantidad contaminante en caudal [g/s]	0,39	0,12	0,14	0,13
Concentración diseño [mg/m <sup>3</sup> ]	2,09			
Gravedad [m/s <sup>2</sup> ]	9,8			
Temperatura salida [K]	308			
Temperatura ambiente [K]	288,9			
Velocidad del viento [km/h]	9,8			
Velocidad del viento [m/s]	2,72			
Altura constructiva propuesta [m]	3	3	3	3
Parámetro flotación [m <sup>4</sup> /s <sup>3</sup> ]	20,65	6,20	7,47	6,99
Distancia hasta final elevación columna [m]	325,13	153,25	172,16	165,14
Altura penacho [m]	76,25	30,92	35,55	33,82
Altura efectiva chimenea [m]	79,25	33,92	38,55	36,82
Coef. dispersión horizontal (y) [m]	260,90			
Coef. dispersión vertical (z) [m]	83,70			
Concentración de contaminantes en inmisión [g/m <sup>3</sup> ]	0,0000007183	0,0000004542	0,0000005034	0,0000004861
Concentración de contaminantes en inmisión [mg/m <sup>3</sup> ]	0,0007183746	0,0004542672	0,0005034515	0,0004861170
Concentración de contaminantes en inmisión [µg/m <sup>3</sup> ]	0,7183746037	0,4542672579	0,5034515344	0,4861170615

*Tabla 35. Cálculo dimensionamiento chimeneas*



## ANEXO II. CATÁLOGOS

### CATÁLOGO MODELO DE REJILLA CIRM-10

Q ( m³/h )	Dim (m m)	425 x 75	525 x 75	625 x 75	425 x 125	525 x 125	625 x 125	425 x 225	525 x 225	625 x 225
100	A/c	5,8	5,3	4,8	4,2					
	dB (A)	5	1							
	Δ P	1,9	1,3	0,9	0,5					
120	A/c	7,0	6,4	5,8	5,1	4,5				
	dB (A)	9	5	2						
	Δ P	3,4	2,3	1,6	1,0	0,6				
140	A/c	8,1	7,4	6,8	5,9	5,3	4,6			
	dB (A)	13	9	5						
	Δ P	4,7	3,1	2,2	1,3	0,8	0,6			
160	A/c	9,4	8,5	7,7	6,7	6,1	5,5			
	dB (A)	16	12	9	3					
	Δ P	6,2	4,1	2,9	1,7	1,1	0,8			
180	A/c	10,6	9,5	8,7	7,6	6,8	6,3	5,4		
	dB (A)	19	15	12	6	2				
	Δ P	6,3	4,1	2,9	1,7	1,1	0,8	0,4		
200	A/c	11,7	10,6	9,7	8,5	7,6	6,9	6,1		
	dB (A)	22	18	14	9	5	1			
	Δ P	9,7	6,4	4,5	2,6	1,7	1,2	0,6		
250	A/c	14,6	13,2	12,1	10,6	9,5	8,7	7,6	6,7	6,2
	dB (A)	27	23	20	14	10	7	1		
	Δ P	15,0	9,9	7,0	4,1	2,6	1,8	1,0	0,7	0,5
300	A/c	17,6	15,8	14,5	12,7	11,3	10,5	9,0	8,1	7,4
	dB (A)	31	27	24	19	14	11	6	1	
	Δ P	21,7	14,3	10,2	5,8	3,8	2,6	1,5	1,0	0,7
350	A/c	20,5	18,5	16,9	14,7	13,3	12,1	10,6	9,5	8,7
	dB (A)	35	31	28	22	18	15	9	5	1
	Δ P	29,5	19,5	13,8	8,0	5,2	3,7	2,1	1,4	1,0
400	A/c	23,4	21,1	19,4	16,8	15,2	13,9	12,1	10,8	9,9
	dB (A)	38	34	31	26	21	18	13	8	5
	Δ P	38,6	25,4	18,1	10,4	6,8	4,8	2,7	1,8	1,2
450	A/c	26,3	23,8	21,8	19,0	17,1	15,6	13,5	12,2	11,1
	dB (A)	41	37	34	29	24	21	15	11	8
	Δ P	48,6	32,2	22,9	13,2	8,6	6,0	3,4	2,2	1,5
500	A/c	29,3	26,4	24,2	21,1	18,9	17,4	15,0	13,5	12,3
	dB (A)	44	40	36	31	27	23	18	14	10
	Δ P	60,2	39,8	28,2	16,3	10,6	7,4	4,2	2,7	1,9
600	A/c	35,1	31,7	29,0	25,3	22,8	20,8	18,0	16,2	14,9
	dB (A)	48	44	41	36	31	28	22	18	15
	Δ P	86,8	57,3	40,6	23,4	15,3	10,7	6,1	3,9	2,7
700	A/c	40,9	37,0	33,9	29,6	26,5	24,3	21,1	18,9	17,3
	dB (A)	52	48	45	38	35	32	26	22	18
	Δ P	118,2	78,0	55,3	31,9	20,8	14,6	8,3	5,4	3,8
800	A/c	42,2	38,7	33,8	30,4	27,7	24,1	21,7	19,8	19,8
	dB (A)	51	48	43	38	35	32	29	25	22
	Δ P	101,8	72,2	47,7	27,1	19,0	13,9	7,0	4,6	
900	A/c		43,6	38,0	34,1	31,2	27,2	24,3	22,2	22,2
	dB (A)		51	45	41	38	32	28	24	24
	Δ P		91,4	62,8	43,3	24,1	13,8	8,9	6,2	6,2
1000	A/c		48,4	42,2	38,0	34,7	30,1	27,1	24,8	24,8
	dB (A)		53	48	44	40	35	31	27	27
	Δ P		112,9	65,2	42,4	28,8	17,0	11,0	7,7	7,7
1200	A/c			50,6	45,4	41,6	36,2	32,5	29,6	29,6
	dB (A)			52	48	45	39	35	31	31
	Δ P			93,8	61,0	42,9	24,4	15,8	11,0	11,0
1400	A/c				53,0	48,6	42,2	37,7	34,5	34,5
	dB (A)				52	48	43	38	35	35
	Δ P				83,1	58,3	33,3	21,4	15,0	15,0
1600	A/c				60,6	56,6	48,3	43,2	39,5	39,5
	dB (A)				55	52	46	42	38	38
	Δ P				108,6	76,2	43,4	28,0	19,6	19,6

A/c = Alcance en m.  
 dB(A) = Nivel sonoro  
 Δ P = Presión en Pascales.

## CATÁLOGO EXTRACTORES

- MODELO CMP [81]:



COD.	Modelo	Velocidad (r/min)	Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Nivel de presión sonora dB(A)	According ErP	PVP €
1012741	CMP-1231-4T-5.5 IE3	1450	4,00	6850	77	2015	1.145,75
1012743	CMP-1231-6T IE3	950	1,50	5115	64	2015	1.146,85
1012748	CMP-1435-4T-4 IE3	1440	3,00	5560	76	2015	1.144,80
1012750	CMP-1435-4T-5.5 IE3	1450	4,00	6260	78	2015	1.298,90
1012753	CMP-1435-4T-7.5 IE3	1465	5,50	7210	80	2015	1.448,15
1012757	CMP-1435-6T IE3	950	2,20	6400	66	2015	1.387,70
1012766	CMP-1640-4T-5.5 IE3	1450	4,00	7000	77	2015	1.428,65
1012769	CMP-1640-4T-7.5 IE3	1465	5,50	8035	80	2015	1.639,20
1062851	CMP-1640-4T-10 IE3	1465	7,50	9710	82	2015	1.800,60
1012776	CMP-1640-6T IE3	950	2,20	8100	71	2015	1.436,30
1012784	CMP-1845-4T-7.5 IE3	1465	5,50	8000	82	2015	1.664,65
1062870	CMP-1845-4T-10 IE3	1465	7,50	10000	85	2015	1.806,35
1012790	CMP-1845-6T IE3	950	2,20	7500	77	2015	1.483,25
1062907	CMP-2050-4T-10 IE3	1485	7,50	9000	83	2015	2.212,55
1062925	CMP-2050-4T-15 IE3	1470	11,00	12525	87	2015	2.650,90
1062916	CMP-2050-4T-20 IE3	1465	15,00	16500	89	2015	3.087,50
1012811	CMP-2050-6T IE3	960	4,00	11000	79	2015	2.362,80
1062981	CMP-2563-6T IE3	975	15,00	21000	86	2015	4.411,05

- MODELO CMR [81]:



CDD.	Modelo	Velocidad (r/min)	Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Nivel de presión sonora dB(A)	According ErP	PVP €
1014298	CMR-1031-2T IE3	2875	1,50	5160	80	2015	1.185,80
1014305	CMR-1135-2T IE3	2910	2,20	7800	83	2015	1.368,65
1014315	CMR-1240-2T IE3	2900	4,00	11100	86	2015	1.782,80
1014319	CMR-1240-4T IE3	1420	0,75	5800	71	2015	1.444,20
1054611	CMR-1445-2T IE3	2930	7,50	16500	87	2015	2.340,45
1014326	CMR-1445-4T IE3	1455	1,10	8030	72	2015	1.641,80
1054636	CMR-1650-2T IE3	2945	11,00	18650	89	2015	3.382,45
1014337	CMR-1650-4T IE3	1440	1,50	10500	74	2015	1.937,35
1014340	CMR-1650-6T IE3	940	0,75	7410	64	2015	2.046,60
1014349	CMR-1856-4T IE3	1440	3,00	15150	79	2015	2.475,35
1014350	CMR-1856-6T IE3	945	1,10	10050	70	2015	2.432,45
1014356	CMR-2063-4T IE3	1465	5,50	24450	80	2015	3.050,20
1014360	CMR-2063-6T IE3	950	1,50	16100	71	2015	2.833,65
1014286	CMR-2063-8T	705	1,10	11600	65	2015	2.849,00
1054724	CMR-2271-4T IE3	1470	11,00	34610	85	2015	4.230,40
1014371	CMR-2271-6T IE3	970	3,00	22750	76	2015	3.736,50
1014289	CMR-2271-8T	705	1,50	17380	69	2015	3.563,50
1054764	CMR-2380-4T IE3	1470	22,00	48000	83	2015	8.255,45
1054772	CMR-2380-6T IE3	975	7,50	30000	75	2015	7.344,70
1014293	CMR-2380-8T	705	3,00	22000	66	2015	6.890,65
1054868	CMR-2590-4T IE3	1480	37,00	54000	86	2015	9.375,95
1054876	CMR-2590-6T IE3	975	11,00	34000	76	2015	7.823,20
1054930	CMR-28100-4T IE3	1480	55,00	75000	87	2015	12.183,40
1054939	CMR-28100-6T IE3	980	18,50	48000	77	2015	9.860,10

## CATÁLOGO ARCILLA EXPANDIDA

Se decide utilizar este material como relleno inorgánico por sus excelentes propiedades mecánicas:



Figura 66. Características mecánicas arcilla expandida [83]

Se escogerá, además, un tamaño de grano variable entre 8 y 20 mm. Existen también arcillas con tamaño de grano menor, entre 2 y 3 mm, pero estas presentan mayor facilidad para compactarse.



---

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

---

- [1] «Almeida anula el contrato para reducir los olores del vertedero de Valdemingómez por "innecesario",» *El Diario*, 06 Enero 2020.
- [2] Organización de las Naciones Unidas, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. [Último acceso: 15 noviembre 2020].
- [3] Boletín Oficial del Estado, «Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados,» Jefatura del Estado, 2011. Última modificación: 12 de mayo de 2016.
- [4] Comisión Europea, «Decisión de la Comisión relativa a los residuos y a los residuos peligrosos,» Diario Oficial de las Comunidades Europeas , 2000.
- [5] NuestraEsfera, «¿Cómo se clasifican los residuos?,» 28 Mayo 2014. [En línea]. Available: [http://nuestraesfera.cl/zoom/como-se-clasifican-los-residuos/#:~:text=Los%20residuos%20pueden%20ser%20clasificados,cartones%2C%20vidrios%2C%20por%20ejemplo\).](http://nuestraesfera.cl/zoom/como-se-clasifican-los-residuos/#:~:text=Los%20residuos%20pueden%20ser%20clasificados,cartones%2C%20vidrios%2C%20por%20ejemplo).) [Último acceso: 15 Enero 2021].
- [6] M. Balbás de la Fuente, *Elaboración Propia*, Madrid: Universidad Pontificia Comillas ICAI, 2021.
- [7] Ison 21, «Residuo Sólido Urbano (RSU),» Ison 21 INGENIERÍA SOSTENIBLE, [En línea]. Available: [https://www.ison21.es/residuo-solido-urbano-rsu/#:~:text=Composici%C3%B3n%20Residuo%20Sólido%20Urbano%20\(RSU\).&text=Papel%20y%20cart%C3%B3n%3A%20peri%C3%B3dicos%2C%20revistas,botes%20de%20bebidas%20y%20refrescos..](https://www.ison21.es/residuo-solido-urbano-rsu/#:~:text=Composici%C3%B3n%20Residuo%20Sólido%20Urbano%20(RSU).&text=Papel%20y%20cart%C3%B3n%3A%20peri%C3%B3dicos%2C%20revistas,botes%20de%20bebidas%20y%20refrescos..) [Último acceso: 03 Diciembre 2020].

- [8] ambientum.com, «Composición de los residuos sólidos urbanos,» Ambientum enciclopedia medioambiental, [En línea]. Available: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/composicion\\_de\\_los\\_rsu.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/composicion_de_los_rsu.asp). [Último acceso: 07 Diciembre 2020].
- [9] ambientum.com, «Detalle de la generación de residuos sólidos urbanos,» Ambientum enciclopedia medioambiental, [En línea]. Available: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/detalle\\_de\\_la\\_generacion\\_de\\_los\\_rsu.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/detalle_de_la_generacion_de_los_rsu.asp). [Último acceso: 07 Diciembre 2020].
- [10] ambientum.com, «Datos de producción de residuos sólidos urbanos,» Ambientum enciclopedia medioambiental, [En línea]. Available: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/datos\\_de\\_produccion.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/datos_de_produccion.asp). [Último acceso: 07 Diciembre 2020].
- [11] UNED, «Gestión y Tratamiento de los Residuos Urbanos,» Biblioteca de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, [En línea]. Available: <https://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina4.htm#Cabecera>. [Último acceso: 10 Diciembre 2020].
- [12] Project Learning Tree, «La basura a través del tiempo,» [En línea]. Available: [https://www.plt.org/wp-content/uploads/pdf/PLT-MSW\\_Actividad-1\\_Pagina-del-estudiante\\_La-basura-a-traves-del-tiempo.pdf](https://www.plt.org/wp-content/uploads/pdf/PLT-MSW_Actividad-1_Pagina-del-estudiante_La-basura-a-traves-del-tiempo.pdf). [Último acceso: 03 Diciembre 2020].
- [13] M. Laurency Bruguera, «El reciclaje a través de la historia,» *La Vanguardia*, 11 Mayo 2020.
- [14] Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla, «Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla,» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70752/fichero/1-+Antecedentes.pdf>. [Último acceso: 03 Diciembre 2020].
- [15] J. Ripa, «Breve historia del 'Homo recyclatorensis',» *El País*, 28 Abril 2016.

- [16] Ayuntamiento de Madrid, «Evolución de la gestión de los residuos en imágenes,» Parque Tecnológico de Valdemingómez, 2018. [En línea]. Available: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Parque-Tecnologico-de-Valdemingomez/Informacion-relativa-al-Parque/Historia-datos-de-interes/Evolucion-de-la-gestion-de-los-residuos-en-imagenes/?vgnextfmt=default&vgnextchannel=a0a3ebf39>. [Último acceso: 03 Diciembre 2020].
- [17] A. del Val, «Tratamiento de los residuos sólidos urbanos,» Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 30 Junio 1977. [En línea]. Available: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a014.html>. [Último acceso: 10 Diciembre 2020].
- [18] Agència de Residus de Catalunya, «Guía de los tratamientos de deyecciones ganaderas,» Generalitat de Catalunya, [En línea]. Available: <http://www.arc.cat/es/altres/purins/guia/pdf/ficha6.pdf>. [Último acceso: 20 Diciembre 2020].
- [19] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «Valorización y reciclaje material,» Gobierno de España, [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Tratamientos-biologicos-biometanizacion.aspx>. [Último acceso: 21 Diciembre 2020].
- [20] biogas fuel cell, «Diegestión anaerobia,» [En línea]. Available: <https://biogasfuelcell.com/digestion-anaerobia/>. [Último acceso: 20 Diciembre 2020].
- [21] FCC Medio Ambiente, S.A., «La Gestión de Olores en Ecoparc 2,» FCC Medio Ambiente, S.A., Barcelona, 2021.
- [22] CTR MEDITERRÁNEO, «La biometanización como alternativa para los RSU, residuos sólidos urbanos,» 26 Noviembre 2014. [En línea]. Available: [ctrmediterraneo](http://ctrmediterraneo.com). [Último acceso: 21 Diciembre 2020].

- [23] S. Cuadros, «Tesis de Compostaje y Biometanización,» Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental. eoi, Madrid, 2008.
- [24] M. Hernández Romero, «Diseño de una planta de biometanización de residuos domésticos,» Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016.
- [25] FCC, «Las Soluciones Tecnológicas para el Aprovechamiento de la Fracción Orgánica de los Residuos,» [En línea]. Available: <http://www.fundacionenergia.es/pdfs/biomada%2006/s.cortes%20280606.pdf>. [Último acceso: 21 Diciembre 2020 ].
- [26] S. Tuset, «Biometanización de Residuos Sólidos Urbanos,» condorchem envitech, 2017. [En línea]. Available: <https://blog.condorchem.com/biometanizacion-de-rsu-residuos-solidos-urbanos/>. [Último acceso: 20 Diciembre 2020].
- [27] E. Contreras Hernández, C. Seal Mery, V. Flores Collao y L. Lastra Rodríguez, «Comparación entre generación de biogás por medio de digestión anaerobia seca y húmeda, de residuos orgánicos provenientes de ferias libres,» [En línea]. Available: <http://www.amica.com.mx/issn/Tabasco/AMI-121.pdf>. [Último acceso: 17 Mayo 2021].
- [28] Gobierno de España, «Valorización energética. Tratamientos térmicos,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Incineracion.aspx#:~:text=En%20la%20incineraci%C3%B3n%20tiene%20lugar,tal%20en%20exceso%20de%20ox%C3%ADgeno.&te>. [Último acceso: 10 Marzo 2020].
- [29] F. Acosta Moreno, Desodorización de las emisiones de una estación depuradora de aguas residuales mediante absorción química, Cádiz: Universidad de Cádiz. Facultad de Ciencias, 2005.

- [30] V. Silvonen, «Opciones de tecnologías para la eliminación de COV,» Genano, 18 Junio 2019. [En línea]. Available: [https://www.genano.com/es/infobase/opciones-de-tecnologia-para-la-eliminacion-de-cov#:~:text=El%20oxidante%20t%C3%A9rmico%20regenerativo%20\(RTO,se%20oxidan%20los%20compuestos%20peligrosos..](https://www.genano.com/es/infobase/opciones-de-tecnologia-para-la-eliminacion-de-cov#:~:text=El%20oxidante%20t%C3%A9rmico%20regenerativo%20(RTO,se%20oxidan%20los%20compuestos%20peligrosos..) [Último acceso: 14 Marzo 2021].
- [31] I. Botamino García, «Depósito de residuos en vertedero,» FCC ÁMBITO.
- [32] Comisión Europea, «La UE apuesta por la gestión de residuos,» Oficina de Publicaciones Oficiales en la Unión Europea, Luxemburgo, 2000.
- [33] X. F. Flores Torres, P. X. Fray Villacres y E. E. Moran Quijije, «Tratamiento de Residuos Sólidos en la Unión Europea,» *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, vol. 1, nº 4, pp. 339-364, 2017.
- [34] European Parliament, «Circular economy package. Four legislative proposals on waste,» February 2017. [En línea]. Available: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/599288/EPRS\\_BRI%282017%29599288\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/599288/EPRS_BRI%282017%29599288_EN.pdf). [Último acceso: 27 Junio 2021].
- [35] M. Perona, «Tendencias en el tratamiento de residuos urbanos en Europa,» 16 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.vidasostenible.org/tendencias-en-el-tratamiento-de-residuos-urbanos-en-europa/>. [Último acceso: 02 Noviembre 2020].
- [36] Eurostat, «Estadísticas sobre residuos,» Eurostat, 2019.
- [37] Gobierno de España, «Principales objetivos de la UE para una economía baja en residuos y circular,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/objetivos-ue-economia-circular.aspx#:~:text=Los%20Estados%20miembros%20deben%20destinar,un%2025%20%25%20de%20la%20madera..> [Último acceso: 14 Junio 2021].

- [38] «Legislación de la UE sobre gestión de residuos. Síntesis del documento "Directiva 2008/98/CE sobre los residuos y por la que se derogan determinadas directivas",» EUR-Lex, 22 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aev0010>. [Último acceso: 05 Julio 2021].
- [39] A. Iglesias García, «Necesidad de una Ley específica para la regulación y control de la contaminación odorífera,» Colegio Oficial de Químicos de Madrid, Madrid.
- [40] L. Rodríguez García, E. Pagans Miró, G. Arisa Alemany y T. Van Harreveld, «Estudio de impacto por olores y revisión de MTD en el Parque Tecnológico de Valdemingómez, Madrid,» Odournet SL, Madrid, 2017.
- [41] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Memoria Anual de Generación y Gestión de Residuos. Residuos de competencia municipal. 2018,» Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Dirección general de calidad y evaluación ambiental, Madrid, 2018.
- [42] Eurofins ENVIRA Ingenieros Asesores, «Conoce la normativa de gestión de residuos vigente en España,» 05 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://envira.es/es/normativa-residuos-espana/>. [Último acceso: 22 Marzo 2021].
- [43] Gobierno de España, «Autorización Ambiental Integrada,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-industrial/prevencion-y-control-integrados-de-la-contaminacion-ippc/autorizacion-ambiental-integrada-aa/default.aspx>. [Último acceso: 26 Mayo 2021].
- [44] Agencia Estatal, «Boletín Oficial del Estado. Orden TEC/1196/2018,» 16 Noviembre 2018. [En línea]. Available: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-15685](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-15685). [Último acceso: 22 Mayo 2021].

- [45] LENNTECH, «Tabla de sustancias olorosas. Sustancias olorosas (Osmogenes) y olor límite,» [En línea]. Available: <https://www.lennotech.es/tabla-de-sustancias-olorosas.htm>. [Último acceso: 17 Mayo 2021].
- [46] Gobierno de España, «De compuestos orgánicos volátiles,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, [En línea]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos\\_organicos\\_volatiles.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos_organicos_volatiles.aspx). [Último acceso: 26 Marzo 2021].
- [47] A. Flotats, «Un equipo contra los malos olores,» *El País*, p. 2, 24 Mayo 2010.
- [48] J. M. Juárez Galán, Diseño y desarrollo de un sistema automático de toma de muestras ambientales de gases y olores mediante condensación criogénica, Alicante: Universidad de Alicante. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Química.
- [49] Troposfera Soluciones Sostenibles, S.L., «Estudio de dispersión de olores de las balsas de evaporación y su futura ampliación en la planta de Olives&Pickles,» Almendralejo, Badajoz, 2017.
- [50] «La dispersión de los contaminantes,» CEUPE Magazine, 2020. [En línea]. Available: <https://www.ceupe.com/blog/la-dispersion-de-los-contaminantes.html>. [Último acceso: 26 Mayo 2021].
- [51] Plastoquímica, «Depuración de olores y COVs,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.plastoquimica.com/productos/sistemas-de-tratamiento-de-gases-para-la-industria/depuracion-de-olores-y-cov-s/7>.
- [52] Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, «Las operaciones unitarias. Ingeniería Química.,» Máster en Ingeniería Industrial, Madrid, 2020.

- [53] Sacyr Sadyt, «Estudio de los tratamientos de desodorización,» [En línea]. Available: [http://sadyt.com/es\\_es/Images/Tratamientos%20de%20desodorizacion\\_tcm22-4644.pdf](http://sadyt.com/es_es/Images/Tratamientos%20de%20desodorizacion_tcm22-4644.pdf). [Último acceso: 26 Marzo 2021].
- [54] Universidad Politécnica de Madrid, «Tipos de absorbedores,» [En línea]. Available: [http://www.diquima.upm.es/old\\_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/COLUMNAS/Tipo2.htm](http://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/COLUMNAS/Tipo2.htm). [Último acceso: 17 Mayo 2021].
- [55] MAGUARVI, «Platos para las torres de proceso,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.maguarvi.com.mx/platos-para-torres-de-proceso.html>. [Último acceso: 17 Mayo 2021].
- [56] Universidad Politécnica de Sevilla, Manual del carbón activo, Sevilla: aguapedia.
- [57] O. F. Higuera Cobos, J. F. Arroyave Londoño y L. C. Florez García, «Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros,» n° 176, pp. 107-119, 2009.
- [58] S. FCC Medio Ambiente, Interviewee, *Visita a la Planta de Biometanización de Las Dehesas*. [Entrevista]. 10 Junio 2021.
- [59] C. Kennes, H. N. Abubackar y M. C. Veiga, «Bioprocesos para la eliminación de contaminantes volátiles: estado actual de conocimientos y futuras tendencias,» Universidad de La Coruña, 18 Abril 2013. [En línea]. Available: [https://www.olores.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=254:bioprocesos-para-la-eliminacion-de-contaminantes-volaticos-estado-actual-de-conocimientos-y-futuras-tendencias&catid=90&Itemid=608&lang=es](https://www.olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=254:bioprocesos-para-la-eliminacion-de-contaminantes-volaticos-estado-actual-de-conocimientos-y-futuras-tendencias&catid=90&Itemid=608&lang=es). [Último acceso: 14 Abril 2021].
- [60] F. M. Pérez García, Diseño de un sistema biológico para la eliminación de acetona y estireno en aire procedente de una industria especializada en la fabricación de equipos de poliéster reforzado con fibra de vidrio, Cádiz: Universidad de Cádiz, 2012.

- [61] F. J. Bernal Serrano, «Optimización de la red de saneamiento del área metropolitana de Sevilla, cuenca norte. Fase I. Desodorización de las instalaciones de Cabecera,» MESEBER SL, Sevilla, 2018.
- [62] I. Lorenzo y S. Nadal, «Tecnologías avanzadas de biofiltración para el tratamiento de COV's y otros olores,» LABAQUA Air Quality, Barcelona, 2017.
- [63] Ayuntamiento de Madrid, «Parque Tecnológico de Valdemingómez,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Parque-Tecnologico-de-Valdemingomez/?vgnextfmt=default&vgnnextchannel=d6cd1a2a419be210VgnVCM1000000b205a0aRCRD>. [Último acceso: 23 Noviembre 2020].
- [64] «¿Cuántas etapas debe tener una ósmosis inversa?,» Eurofontanilla, [En línea]. Available: <https://www.eurofontanilla.es/blog/cuantas-etapas-debe-tener-una-osmosis-inversa/>. [Último acceso: 27 Marzo 2021].
- [65] RETEMA. Revista Técnica de Medio Ambiente, «Valdemingómez recibirá nuevas inversiones para la desodorización de las plantas de biometanización y biogás,» 05 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.retema.es/noticia/valdemingomez-recibira-nuevas-inversiones-para-la-desodorizacion-de-las-plantas-de-bi-izSjb>. [Último acceso: 27 Junio 2021].
- [66] N. Giner Galera, J. Almazán Lope, M. V. Martínez Pedro, R. M. Pérez Ros, A. Vila García, J. F. Puerta Hernández y P. Banco Gómez, «Anejo nº1,» de *Proyecto básico de los sistemas de desodorización de las Plantas de Biometanización y Tratamiento de Biogás del Parque Tecnológico de Valdemingómez. Lote 1: Las Dehesas*, Valencia, Vielca Ingenieros, 2018, p. 33.
- [67] N. Giner Galera, J. Almazán Lope, M. V. Martínez Pedro, R. M. Pérez Ros, A. Vila García, J. F. Puerta Hernández y P. Banco Gómez, «Proyecto básico de los sistemas de desodorización de las Plantas de Biometanización y Tratamiento de Biogás del Parque Tecnológico de Valdemingómez. Lote 1: Las Dehesas,» Vielca Ingenieros S.A., Valencia, 2018.

- [68] P. Banco Gómez, N. Giner Galera, J. Almazán Lope, M. V. Martínez Pedro, R. M. Pérez Ros, A. Vila García y J. F. Puerta Hernández, «Anejo nº2,» de *Proyecto básico de los sistemas de desodorización de las Plantas de Biometanización y Tratamiento de Biogás del Parque Tecnológico de Valdemingómez. Lote 1: Las Dehesas*, Valencia, Vielca Ingenieros, 2018, p. 10.
- [69] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), Consejo de Ministros, 2021.
- [70] Casals. Fans of innovation, «Cómo calcular las renovaciones por hora según la actividad de un local,» [En línea]. Available: [https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion\\_de\\_aire\\_en\\_locales\\_tipicos\\_casals.pdf](https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf). [Último acceso: 27 Junio 2021].
- [71] Carrier Global Corporation, Aire acondicionado.
- [72] Schako Iberia, S.L., «Rejillas de ventilación,» Schako Iberia, S.L., [En línea]. Available: <https://schako.com/es/schako-product-category/rejillas-de-ventilacion/>. [Último acceso: 18 Junio 2021].
- [73] MANUFACTURAS DIFAIR CLIMA, S.L., TÉCNICAS DEL AIRE. CATÁLOGO DE PRODUCTOS, Madrid: DIFAIR.
- [74] SODECA, «Ventiladores Centrífugos Aplicaciones Industriales,» SODECA, [En línea]. Available: <https://www.sodeca.com/es/productos/ventiladores-centrifugos-aplicaciones-industriales-s45?fil=50>. [Último acceso: 28 Junio 2021].
- [75] «Google Maps,» [En línea]. [Último acceso: 01 Julio 2021].
- [76] B. Mozo Cáliz, Instalación de biofiltro en la EDAR "Guadalete" de Jerez de la Frontera para desodorización de gases, Cádiz: Universidad de Cádiz, 2011.
- [77] Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, «Ingeniería del aire y contaminación,» Ingeniería Medioambiental, 2019, 2019.

- [78] Construmática, «Chimeneas industriales,» Construmática, [En línea]. Available: [https://www.construmatica.com/construpedia/Chimeneas\\_Industriales](https://www.construmatica.com/construpedia/Chimeneas_Industriales). [Último acceso: 10 Julio 2021].
- [79] A. López Jiménez, «¿Cómo se calcula la altura aproximada de una chimenea industrial?,» Universitat Politècnica de València, Valencia, 2019.
- [80] SALVADOR ESCODA, S.A., TARIFA DE PRECIOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN, Madrid.
- [81] SODECA, «Ventiladores centrífugos y extractores en línea para conductos,» [En línea]. Available: [https://www.sodeca.com/repository/documentos/ES/SE01\\_CMP\\_2018ES.pdf](https://www.sodeca.com/repository/documentos/ES/SE01_CMP_2018ES.pdf). [Último acceso: 28 Junio 28].
- [82] BigMat, «Arcilla expandida BigMat 8-20,» BigMat, [En línea]. Available: <https://www.bigmat.es/es/b2c/p/tienda-de-la-construccion/arcilla-expandida-bigmat-8-20-1>. [Último acceso: 07 Julio 2021].
- [83] Amado Salvador, «Arcilla expandida Laterlite de granulometría de 8 a 20 mm,» Amado Salvador, [En línea]. Available: <https://amadosalvador.es/arcilla-expandida-laterlite-de-granulometria-de-8-a-20-mm.html#:~:text=Arlita%20de%208%20a%2020,4%2C86%20%E2%82%AC%20IVA%20Incl>. [Último acceso: 07 Julio 2021].
- [84] «Tecnologías Ósmosis Inversa,» J. HUESA WATER TECHNOLOGY, [En línea]. Available: <https://jhuesa.com/tecnologias/osmosis-inversa>. [Último acceso: 25 Febrero 2021].
- [85] «Ósmosis inversa en la purificación del agua,» Ecopreneur, [En línea]. Available: <https://www.ecopreneur.cl/osmosis-inversa-en-la-purificacion-del-agua/>. [Último acceso: 25 Febrero 2021].

[86] M. V. Coppini, «Gestión de residuos urbanos en España,» 17 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/gestion-residuos-urbanos/>. [Último acceso: 22 Marzo 2021].