

MEDITERRÁNEO

Análisis de MTD y MPA para el **sector de tratamiento de residuos peligrosos** de la región mediterránea

producción

LIMPIA

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)
Plan de Acción para el Mediterráneo



PNUMA



Centro de Actividad Regional
para la Producción Limpia



Ministerio de Medio Ambiente
España



Generalitat de Catalunya
Gobierno de Cataluña
Departamento de Medio Ambiente
y Vivienda

Análisis de MTD y MPA para el **sector de tratamiento de residuos peligrosos** de la región mediterránea



Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)
Plan de Acción para el Mediterráneo



Centro de Actividad Regional
para la Producción Limpia



Ministerio de Medio Ambiente
España



Generalitat de Catalunya
Gobierno de Cataluña
Departamento de Medio Ambiente
y Vivienda

Nota: Esta publicación puede reproducirse con fines educativos o sin afán de lucro, en su totalidad o en parte, sin el consentimiento específico del Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL), siempre y cuando se cite la fuente. Por favor, envíen una copia de cualquier publicación en la que se haya citado este documento al CAR/PL.

No está permitida la venta de este material ni su empleo con fines comerciales sin el consentimiento por escrito del CAR/PL.

Les rogamos nos informen de cualquier posible mejora o imprecisión de la información que contiene el presente documento.

Estudio finalizado en abril de 2006

Estudio publicado en septiembre de 2006

Para obtener copias adicionales del documento o más información pónganse en contacto con:

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)

Dr. Roux, 80
08017 Barcelona (España)
Tel. +34 93 553 87 90 - Fax +34 93 553 87 95
Correo electrónico: cleanpro@cprac.org
Sitio web: <http://www.cprac.org>

ÍNDICE

RESUMEN PRELIMINAR	15
1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. ANTECEDENTES	19
1.2. DEFINICIONES	19
1.3. OBJETO Y ALCANCE.....	20
2. EL SECTOR DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS	23
3. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS	27
3.1. TÉCNICAS GENERALES	27
3.1.1. Gestión ambiental.....	27
3.1.2. Conocimiento de las características de los residuos de entrada	29
3.1.3. Conocimiento de las características de los residuos de salida	31
3.1.4. Sistemas de gestión.....	31
3.1.5. Gestión de servicios públicos y materias primas.....	33
3.1.6. Almacenamiento y manipulación	35
3.1.7. Separación y compatibilidad	39
3.1.8. Técnicas de mejora ambiental de otras técnicas habituales	39
3.1.8.1. Técnicas de reducción de las emisiones generadas por los procesos de trituración	39
3.1.8.2. Técnicas para la reducción de las emisiones generadas en los procesos de lavado.....	40
3.1.9. Técnicas para prevenir accidentes y sus consecuencias.....	42
3.1.10. Técnicas para la reducción de ruidos y vibraciones	42
3.1.11. Técnicas para el cierre definitivo	43
3.1.12. Técnicas habituales	43
3.1.12.1. Tratamiento de pequeños residuos	43
3.1.12.2. Reducción del volumen de los residuos	44
3.1.12.3. Otras técnicas habituales.....	44
3.2. TÉCNICAS PARA TIPOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ESPECÍFICOS	44
3.2.1. Tratamientos biológicos	44
3.2.2. Tratamientos fisicoquímicos	49

3.2.2.1.	Tratamientos fisicoquímicos para aguas residuales	50
3.2.2.2.	Tratamiento fisicoquímico de residuos sólidos y suelos contaminados...	57
3.2.3.	Recuperación de materiales a partir de residuos	63
3.2.3.1.	Recuperación de materiales a partir de residuos: rerefino de aceites residuales	64
3.2.3.2.	Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de disolventes residuales	70
3.2.3.3.	Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de catalizadores residuales.....	71
3.2.3.4.	Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración del carbón activado residual	72
3.2.3.5.	Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de resinas....	75
3.2.4.	Preparación de residuos destinados a usarse como combustible.....	75
3.2.4.1.	Preparación de los residuos sólidos que se utilizarán como combustible	76
3.2.4.1.1.	<i>Preparación de combustibles residuales sólidos a partir de residuos peligrosos.....</i>	<i>79</i>
3.2.4.2.	Preparación de residuos líquidos que se utilizarán como combustible ...	79
3.2.4.2.1.	<i>Preparación de combustibles residuales líquidos a partir de residuos peligrosos.....</i>	<i>80</i>
3.2.4.2.2.	<i>Tratamiento de aceites residuales cuando los residuos de salida estén destinados a usarse básicamente como combustible</i>	<i>80</i>
3.2.4.3.	Preparación de combustibles gaseosos a partir de residuos.....	81
3.3.	TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES	81
3.3.1.	Tratamiento de las emisiones atmosféricas.....	81
3.3.2.	Gestión de aguas residuales.....	85
3.3.3.	Gestión de residuos generados en los procesos	90
3.3.4.	Contaminación del suelo	91
4.	TÉCNICAS DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	93
4.1.	TÉCNICAS GENERALES	93
4.1.1.	Adecuación del diseño del proceso a los residuos recibidos.....	99
4.1.2.	Buenas prácticas generales.....	99
4.1.3.	Técnicas de pretratamiento, almacenaje y manipulación para residuos peligrosos	100
4.1.3.1.	Aceptación de residuos	101
4.1.3.2.	Almacenaje.....	103
4.1.3.3.	Alimentación y pretratamiento	104
4.1.3.4.	Transferencia y carga de los residuos	106
4.1.4.	Técnicas de pretratamiento, almacenaje y manipulación para lodos de alcantarillado..	106
4.1.4.1.	Deshidratación hídrica.....	107
4.1.4.2.	Secado	107
4.1.4.3.	Digestión del lodo.....	107
4.2.	ETAPA DE TRATAMIENTO TÉRMICO	108

4.2.1.	Selección de la tecnología de combustión	112
4.2.1.1.	Incineradores de parrilla.....	113
4.2.1.2.	Hornos rotatorios.....	113
4.2.1.3.	Hornos y cámaras de postcombustión para incineración de residuos peligrosos.....	113
4.2.1.3.1.	<i>Horno de tambor con cámara de postcombustión para incineración de residuos peligrosos.....</i>	<i>113</i>
4.2.1.4.	Lecho fluidificado	114
4.2.1.4.1.	<i>Incineración en lecho fluidificado estacionario o de burbujas (LFB)</i>	<i>114</i>
4.2.1.4.2.	<i>Lecho fluidificado circulante (LFC) para lodos de alcantarillado.....</i>	<i>114</i>
4.2.1.4.3.	<i>Hornos de parrilla extendedora.....</i>	<i>114</i>
4.2.1.4.4.	<i>Lecho fluidificado rotatorio</i>	<i>114</i>
4.2.1.5.	Sistemas de pirólisis y gasificación.....	115
4.2.1.5.1.	<i>Pirólisis.....</i>	<i>116</i>
4.2.1.5.2.	<i>Gasificación.....</i>	<i>117</i>
4.2.1.6.	Otras técnicas	117
4.2.1.6.1.	<i>Hornos de solera estática y en gradas</i>	<i>117</i>
4.2.1.6.2.	<i>Hornos de soleras múltiples.....</i>	<i>118</i>
4.2.1.6.3.	<i>Horno de lecho fluidificado de soleras múltiples.....</i>	<i>118</i>
4.2.1.6.4.	<i>Cámaras de incineración para residuos líquidos y gaseosos..</i>	<i>118</i>
4.2.1.6.5.	<i>Cámara de incineración cicloidal para lodos de alcantarillado.</i>	<i>118</i>
4.2.1.6.6.	<i>Incineración de aguas residuales</i>	<i>118</i>
4.2.1.6.7.	<i>Tecnologías de plasma.....</i>	<i>119</i>
4.2.2.	Uso de modelos de flujo	119
4.2.3.	Uso de funcionamiento continuo en lugar de por lotes	119
4.2.4.	Control de las condiciones en que se produce la combustión	120
4.2.4.1.	Optimización de la estequiometría del suministro de aire	120
4.2.4.2.	Optimización del suministro y distribución del aire primario	121
4.2.4.3.	Optimización del suministro y distribución del aire secundario	121
4.2.5.	Uso de quemadores auxiliares automatizados.....	121
4.2.6.	Protección de las paredes de membranas del horno y el primer paso de la caldera con materiales refractarios o de otro tipo	121
4.2.7.	Uso de velocidades bajas del gas en el horno e inclusión de pasos vacíos antes de la sección de convección de la caldera	122
4.3.	ETAPA DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA.....	122
4.3.1.	Introducción y principios generales.....	126
4.3.2.	Reducción del consumo energético global de los procesos.....	128
4.3.3.	Factores externos que afectan a la eficiencia energética: tipo y naturaleza de los residuos.....	129
4.3.4.	Factores externos que afectan a la eficiencia energética: influencia de la ubicación de la planta en la recuperación de energía	129

4.3.5.	Factores a tener en cuenta al seleccionar el diseño del ciclo energético.....	129
4.3.6.	Selección de las turbinas	131
4.3.7.	Eficiencia energética de los incineradores de residuos	131
4.3.8.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: pretratamiento de la alimentación de residuos	132
4.3.9.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: calderas y transferencia de calor.....	132
4.3.10.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: precalentamiento del aire de combustión	133
4.3.11.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: parrillas refrigeradas por agua	133
4.3.12.	Reducción de la presión del condensador	133
4.3.13.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: condensación de los gases de combustión	133
4.3.14.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: bombas de calor... 134	
4.3.15.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: recirculación de los gases de combustión	134
4.3.16.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: recalentamiento de los gases de combustión a las temperaturas operativas de los dispositivos de TGC. 134	
4.3.17.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: reducción de la visibilidad de la pluma	135
4.3.18.	Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: mejora del ciclo del vapor.....	135
4.3.19.	Limpieza eficiente de los haces de convección	135
4.4.	GENERADORES DE VAPOR Y EXTINCIÓN POR ENFRIAMIENTO BRUSCO PARA INCINERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	136
4.5.	TRATAMIENTO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN (TGC) Y SISTEMAS DE CONTROL APLICADOS	137
4.5.1.	Aplicación de las técnicas de TGC	143
4.5.1.1.	Factores generales a considerar cuando se seleccionan los sistemas de tratamiento de los gases de combustión.....	144
4.5.1.2.	Optimización energética	145
4.5.1.3.	Optimización global y el enfoque de «sistema completo»	145
4.5.1.4.	Selección de la técnica en instalaciones existentes o nuevas.....	145
4.5.2.	Descripción general de los tratamientos de los gases de combustión en los incineradores de residuos peligrosos.....	145
4.5.3.	Tratamiento de los gases de combustión para los incineradores de lodos	146
4.5.4.	Técnicas para reducir las emisiones de partículas	146
4.5.4.1.	Fase de desempolvado previa a otros tratamientos de los gases de combustión	146
4.5.4.1.1.	<i>Ciclones y multiciclones</i>	146
4.5.4.1.2.	<i>Precipitadores electrostáticos (PES)</i>	147
4.5.4.1.3.	<i>Filtros de tela</i>	147
4.5.4.2.	Sistema adicional de limpieza de los gases de combustión	147

4.5.4.2.1.	<i>Precipitadores electrostáticos húmedos (PES húmedos)..</i>	148
4.5.4.2.2.	<i>Precipitador electrostático de condensación</i>	148
4.5.4.2.3.	<i>Lavadores húmedos de ionización (LHI)</i>	148
4.5.5.	Técnicas para la reducción de gases ácidos.....	148
4.5.5.1.	Recirculación de los restos del TGC en el sistema TGC.....	149
4.5.5.2.	Eliminación del dióxido de azufre y de compuestos halógenos	149
4.5.5.3.	Desulfuración directa (adición directa de reactivos alcalinos a los residuos)	149
4.5.5.4.	Uso de la monitorización de gases ácidos para el proceso de TGC	150
4.5.6.	Técnicas para la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno	150
4.5.6.1.	Reducción catalítica selectiva (RCS).....	150
4.5.6.2.	Reducción no catalítica selectiva (RNCS)	150
4.5.6.3.	Optimización de la selección del reactivo para la reducción de los NO _x vía RNCS	150
4.5.7.	Técnicas para la reducción de las emisiones de PCDD/F	151
4.5.8.	Técnicas para la reducción de las emisiones de mercurio.....	152
4.5.8.1.	Lavado húmedo a pH bajo y añadido de aditivos	153
4.5.8.2.	Inyección de carbón activado para la adsorción de Hg	153
4.5.8.3.	Separación del mercurio usando un filtro de resina.....	154
4.5.8.4.	Inyección de clorito para el control del Hg elemental	154
4.5.9.	Técnicas para la reducción de otras emisiones de metales pesados	154
4.5.10.	Técnicas para la reducción de las emisiones de compuestos orgánicos.....	154
4.5.11.	Reducción de los gases de efecto invernadero (CO ₂ , N ₂ O).....	155
4.5.11.1.	Prevención de las emisiones de óxido nitroso.....	155
4.6.	TÉCNICAS DE CONTROL Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	156
4.6.1.	Fuentes potenciales de aguas residuales	156
4.6.2.	Principios de diseño básicos para el control de las aguas residuales.....	156
4.6.3.	Procesamiento de las aguas residuales de los sistemas de tratamiento húmedo de los gases de combustión	157
4.6.3.1.	Tratamiento fisicoquímico	157
4.6.3.2.	Aplicación de sulfuros	158
4.6.3.3.	Aplicación de la tecnología de membranas	158
4.6.3.4.	Extracción de volátiles del amoniaco.....	158
4.6.3.5.	Tratamiento por separado de las aguas residuales provenientes del primer y del último paso de los sistemas de lavado.	158
4.6.3.6.	Tratamiento biológico anaeróbico (conversión de los sulfatos en azufre elemental)	158
4.6.3.7.	Sistemas de evaporación para las aguas residuales del proceso.....	158
4.6.3.8.	Recirculación de las aguas residuales contaminadas en sistemas de limpieza húmeda	158
4.6.3.9.	Recirculación de efluentes durante el proceso en lugar de verterlos	158
4.6.3.10.	Vertido separado del agua de lluvia de los tejados y otras superficies limpias	159
4.6.3.11.	Provisión de capacidad para el almacenamiento y tamponamiento de las aguas residuales	159

4.6.3.12.	Tratamiento separado de los efluentes producidos en diferentes etapas del lavado húmedo	159
4.6.4.	Tratamiento de las aguas residuales en los incineradores de residuos peligrosos	159
4.7.	TÉCNICAS DE CONTROL Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	160
4.7.1.	Clases de residuos sólidos	162
4.7.1.1.	Residuos que se producen durante la fase de combustión del incinerador: .	162
4.7.1.2.	Restos del TGC	163
4.7.2.	Técnicas de tratamiento de los residuos sólidos	164
4.7.2.1.	Tratamiento y reciclado de residuos sólidos	165
4.7.2.2.	Separación de las cenizas de horno de los restos del tratamiento de los gases de combustión	165
4.7.2.3.	Cenizas de horno: separación de metales.....	165
4.7.2.4.	Cribaje y trituración de las cenizas de horno	166
4.7.2.5.	Tratamiento de las cenizas de horno por envejecimiento.....	166
4.7.2.6.	Tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento seco	166
4.7.3.	Tratamientos aplicados a los restos de los gases de combustión.....	167
4.7.3.1.	Solidificación y estabilización química	167
4.7.3.2.	Tratamiento térmico de los restos del TGC.....	167
4.7.3.3.	Extracción y separación de los restos del TGC	168
4.7.3.4.	Estabilización química de los restos del TGC.....	168
4.7.3.5.	Otros métodos o prácticas para los restos del TGC	168
4.8.	TÉCNICAS DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL.....	168
4.8.1.	Sistemas de control de la incineración.....	168
4.8.2.	Descripción general de la monitorización de las emisiones realizada.....	169
5.	UTILIZACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN PROCESOS INDUSTRIALES	171
5.1.	UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLE SECUNDARIO	171
5.1.1.	Neumáticos	171
5.1.2.	Aceites usados	172
5.1.3.	Plásticos	172
5.1.4.	Biomasa	172
5.1.4.1.	Desechos de madera	172
5.1.4.2.	Lodos de alcantarillado.....	172
5.1.4.3.	Paja.....	173
5.1.5.	Papel y lodos de papel.....	173
5.1.6.	Residuos animales	173
5.1.7.	Disolventes usados	173
5.1.8.	Otros residuos	173
5.2.	SECTORES INDUSTRIALES QUE UTILIZAN RESIDUOS PELIGROSOS.....	174
5.2.1.	Industria cementera.....	174

5.2.2.	Industria eléctrica	176
5.2.3.	Pasta y papel	177
5.2.4.	Hornos de cal	178
5.2.5.	Hornos para cocer ladrillos	178
5.2.6.	Plantas de producción de hierro	178
5.3.	TECNOLOGÍAS.....	178
5.3.1.	Central eléctrica alimentada por lignito.....	178
5.3.2.	Central eléctrica alimentada por hulla	179
5.3.3.	Plantas cementeras	179
5.3.4.	Incinerador de residuos	179
5.3.5.	Coincineración	179
5.4.	EVALUACIÓN AMBIENTAL	180
5.5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	180
6.	VERTEDEROS DE RESIDUOS PELIGROSOS	183
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	183
6.2.	ELEMENTOS DE GESTIÓN PARA VERTEDEROS DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	183
6.3.	DISEÑO DE VERTEDEROS	184
6.3.1.	Ubicación	186
6.3.1.1.	Vías de acceso.....	186
6.3.1.2.	Distancia y capacidad	186
6.3.1.3.	Esbozos de la Evaluación de Impacto Ambiental.....	187
6.3.2.	Límites de la propiedad.....	187
6.3.3.	Geología.....	188
6.3.3.1.	Terrenos kársticos.....	188
6.3.3.2.	Áreas susceptibles de movimientos de masas	188
6.3.3.3.	Áreas de avalancha	188
6.3.3.4.	Suelos	188
6.3.4.	Naturaleza.....	188
6.3.4.1.	Especies amenazadas	189
6.3.5.	Drenaje.....	189
6.3.5.1.	Distancia hasta las aguas superficiales y a áreas ambientalmente sensibles	189
6.3.5.2.	Distancia hasta lagos o estanques	189
6.3.5.3.	Distancia hasta ríos o arroyos.....	189
6.3.5.4.	Humedales	190
6.3.5.5.	Características costeras.....	190
6.3.5.6.	Distancia hasta aguas de procesos industriales.....	190
6.3.5.7.	Llanuras de inundación	190
6.3.6.	Recubrimiento final	190

6.3.7.	Sistemas de evacuación o recuperación y gestión de gas	191
6.3.8.	Contorno final del emplazamiento.....	191
6.3.9.	Uso de la energía	191
6.3.10.	Materias primas	191
6.3.11.	Polvo/partículas finas (PM10) y olores.....	191
6.4.	VERTEDEROS EN FUNCIONAMIENTO.....	192
6.4.1.	Requisitos primarios.....	192
6.4.2.	Agua	193
6.4.2.1.	Descarga a aguas superficiales, al alcantarillado y a aguas subterráneas ...	193
6.4.2.2.	Efluentes de lixiviados	194
6.4.3.	Aire	194
6.4.3.1.	Emisiones de gases fugitivos	195
6.4.3.2.	Emisiones de gas de proceso	195
6.4.3.3.	Olores	195
6.4.3.4.	Ruido	195
6.4.3.5.	Vibraciones.....	195
6.4.4.	Compactación de residuos y recubrimiento del suelo	196
6.4.5.	Pretratamiento de residuos peligrosos.....	196
6.4.6.	Desclasificación de residuos como peligrosos	196
6.4.7.	Coeliminación y residuos prohibidos.....	196
6.4.8.	Rebusca	196
6.4.9.	Control de basuras	197
6.4.10.	Incineración al aire libre	197
6.4.11.	Rótulos	197
6.5.	CLAUSURA DEL VERTEDERO.....	197
6.5.1.	Cese de la eliminación de residuos	197
6.5.2.	Restauración y cuidado posterior.....	197
6.5.3.	Mantenimiento de sistemas de control de la contaminación ambiental.....	197
7.	DESARROLLO FUTURO DEL SECTOR.....	199
7.1.	TRATAMIENTO DE RESIDUOS	199
7.1.1.	Análisis en línea	199
7.1.2.	Tiempos de degradación biológica en procesos TMB	199
7.1.3.	Inmovilización de cloros de metales pesados:.....	199
7.1.4.	Estabilización de residuos del TGC con sulfato ferroso	199
7.1.5.	Estabilización de restos de TGC con dióxido de carbono y fosfato.....	200
7.1.6.	Tecnologías emergentes para la extracción de vapores del suelo para la regeneración del suelo	200
7.1.7.	Fitoextracción de metales del suelo.....	200
7.1.8.	Tratamiento de residuos contaminados con contaminantes orgánicos persistentes.....	200

7.1.9.	Tecnologías emergentes para el tratamiento de aceite usado.....	201
7.1.10.	Regeneración de carbón activado	202
7.1.11.	Preparación de combustible sólido a partir de mezclas orgánico/agua	202
7.1.12.	Tecnologías emergentes para la preparación de residuos peligrosos para la recuperación de energía	202
7.1.13.	Craqueo de materiales polímeros.....	202
7.2.	INCINERACIÓN DE RESIDUOS.....	202
7.2.1.	Utilización de vapor como agente pulverizador en quemadores de cámara de postcombustión en lugar de aire.....	202
7.2.2.	Aplicación que implica el recalentamiento del vapor de la turbina.....	202
7.2.3.	Otras medidas en el área del gas de combustión crudo para reducir las emisiones de dioxinas	203
7.2.4.	Lavador de aceite para la reducción de compuestos aromáticos polihalogenados e hidrocarburos poliaromáticos (HPA) en los gases de combustión de la incineración.	203
7.2.5.	Utilización de CO ₂ en gases de combustión para la producción de carbonato sódico..	203
7.2.6.	Temperatura de lecho aumentada, control de la combustión y adición de oxígeno en un incinerador de parrilla	203
7.2.7.	El proceso de combinación PECK para el tratamiento de RSM.....	204
7.2.8.	Estabilización de residuos del TGC con FeSO ₄	204
7.2.9.	Estabilización de residuos de TGC con CO ₂	205
7.2.10.	Vista de conjunto de algunas otras tecnologías emergentes para el tratamiento de residuos del TGC	205
	7.2.10.1. Tratamiento para el abastecimiento a la industria cementera	205
	7.2.10.2. Proceso de evaporación de metales pesados	205
	7.2.10.3. Tratamiento hidrometalúrgico con vitrificación.....	205
7.2.11.	Sistemas de TGC secos combinados de bicarbonato sódico + RCS + lavador ...	206
7.2.12.	Combinación de procesos térmicos.....	206
	7.2.12.1. Pirólisis- incineración	207
	7.2.12.2. Pirólisis- gasificación.....	207
	7.2.12.3. Gasificación-combustión	207
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	209
9.	ANEXO I - RELACIÓN DE MTD	213
9.1.	MTD PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	213
9.2.	MTD PARA LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	224
10.	ANEXO II - GLOSARIO	233
11.	REFERENCIAS	237

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: MTD de gestión ambiental	28
Tabla 3.2: MTD para mejorar el conocimiento de las características de los residuos de entrada	30
Tabla 3.3: MTD para determinar las características de los residuos de salida	31
Tabla 3.4: MTD para los sistemas de gestión	32
Tabla 3.5: MTD para la gestión de servicios públicos y materias primas	34
Tabla 3.6: MTD de almacenamiento y manipulación	37
Tabla 3.7: MTD para la mejora ambiental de otras técnicas habituales	41
Tabla 3.8: MTD para tratamientos biológicos	47
Tabla 3.9: MTD para el tratamiento fisicoquímico de aguas residuales	53
Tabla 3.10: MTD para el tratamiento fisicoquímico de residuos sólidos	61
Tabla 3.11: MTD para la recuperación de materiales a partir de aceites residuales rerefinaos	67
Tabla 3.12: MTD para la recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de disolventes residuales	71
Tabla 3.13: MTD para la recuperación de materiales: regeneración de catalizadores residuales	72
Tabla 3.14: MTD para la recuperación de materiales: regeneración del carbono activado residual	74
Tabla 3.15: MTD para preparar los residuos que se emplearán como combustible	78
Tabla 3.16: MTD para la preparación de combustible residual sólido a partir de residuos peligrosos	79
Tabla 3.17: MTD para la preparación de combustible residual líquido a partir de residuos peligrosos	80
Tabla 3.18: MTD para el tratamiento de las emisiones a la atmósfera	83
Tabla 3.19: MTD para la gestión de aguas residuales	87
Tabla 3.20: MTD de gestión de residuos generados durante los procesos	91
Tabla 3.21: MTD para la contaminación del suelo	92
Tabla 4.1: MTD para técnicas generales en el sector de la incineración de residuos peligrosos	94
Tabla 4.2: Resumen de diferencias entre operadores en el mercado de incineración de residuos peligrosos	101
Tabla 4.3: MTD para incineración de fangos de alcantarillado	108
Tabla 4.4: MTD para procesos de tratamiento térmico	109
Tabla 4.5: Condiciones de reacción habituales para la pirólisis, gasificación e incineración	116
Tabla 4.6: MTD para la recuperación energética	123
Tabla 4.7: Ventajas e inconvenientes de los sistemas de refrigeración de gases	137
Tabla 4.8: MTD para el tratamiento de los gases de combustión y sistemas de control	138
Tabla 4.9: MTD para las técnicas de control y tratamiento de las aguas residuales	156
Tabla 4.10: MTD para el tratamiento de restos sólidos y las técnicas de control	160
Tabla 5.1: Residuos peligrosos utilizados como combustibles sustitutivos o secundarios en Europa	174
Tabla 5.2: Características principales del proceso de producción de cemento (RDC/Kema, 1999 en [1])	175
Tabla 5.3: Cantidades de residuos utilizadas como combustibles secundarios en Europa (RDC/Kema, 1999 en [1])	176
Tabla 5.4: Características principales de las centrales eléctricas alimentadas por carbón (RDC/Kema, 1999 en [1])	177
Tabla 6.1: Consideraciones para el diseño de vertederos	185
Tabla 7.1: Tratamiento de residuos contaminados con contaminantes orgánicos persistentes	201
Tabla 7.2: Comparación entre plantas de conversión de residuos a energía (WTE) convencionales y procesos SYNCOM	203
Tabla 7.3: Aplicabilidad de los sistemas de TGC secos combinados de bicarbonato sódico + RCS + lavador	206

RESUMEN PRELIMINAR

Introducción

El plan para la reducción en 2010 del 20 % de la generación de residuos peligrosos de origen industrial en la región mediterránea [7], redactado en el marco del Programa de Acciones Estratégicas (PAE), señala la industria de la gestión de residuos peligrosos como una de las que más residuos peligrosos generan. En este contexto, el presente análisis de las mejores técnicas disponibles (MTD) y las mejores prácticas ambientales (MPA) para el tratamiento de residuos peligrosos en la región mediterránea pretende convertirse en un documento de referencia al que puedan acudir los países del PAM con el fin de mejorar sus prácticas de tratamiento de residuos peligrosos.

Los distintos tipos de tratamientos de sustancias peligrosas analizados en este documento se han clasificado en cuatro categorías principales: tratamiento, tratamiento térmico, uso de residuos peligrosos en procesos industriales y vertederos.

Metodología

Los datos relativos a técnicas y prácticas ambientales del sector del tratamiento de sustancias peligrosas se han recopilado principalmente de fuentes de información centradas en las actividades y procesos actualmente existentes en la Unión Europea. Se ha evaluado la viabilidad de la aplicación de dichas técnicas y prácticas en el sector del tratamiento de residuos peligrosos del Mediterráneo y, cuando ha sido necesario, se ha recomendado la realización de más estudios.

Aunque los términos «mejores técnicas disponibles» y «mejores prácticas ambientales» reciben definiciones distintas en el anexo IV del Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación Causada por Fuentes y Actividades Situadas en Tierra, en el marco de la Unión Europea, se considera que «mejores técnicas disponibles» es un término lo suficientemente amplio para abarcar el concepto de «mejores prácticas ambientales».

Técnicas para el sector de tratamiento de residuos peligrosos

Este capítulo se basa en el documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles (BREF) de las industrias de tratamiento de residuos [2]. Se han examinado las técnicas y prácticas ambientales de cada una de las categorías técnicas: técnicas generales, técnicas dirigidas a tipos de residuos concretos y técnicas de reducción de las emisiones. También se ha valorado la aplicabilidad en el sector de tratamiento de residuos mediterráneo. Las técnicas o prácticas consideradas mejores técnicas disponibles (MTD) en el BREF se han analizado desde el punto de vista de su beneficio ambiental y económico.

Técnicas para el sector de incineración de residuos peligrosos

La información de este capítulo se ha obtenido en su mayoría del documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles (BREF) en el sector de la incineración de residuos [3]. En el capítulo se estudian los tratamientos técnicos de incineración más utilizados, pero también se incluye información sobre la gasificación y la pirólisis. Las técnicas y prácticas estudiadas se han dividido en función de las principales etapas del proceso de incineración. De las técnicas descritas, las consideradas MTD en el BREF se organizan en tablas por secciones. Cada una de ellas incluye una breve descripción y una valoración de su aplicabilidad en el sector de tratamiento de residuos mediterráneo, además de sus beneficios ambientales y algunas consideraciones económicas.

Utilización de residuos peligrosos en los procesos industriales

Este capítulo se centra básicamente en el uso de residuos peligrosos como combustibles secundarios. La información al respecto se ha obtenido, principalmente, de dos fuentes: el documento *Refuse Derived Fuel, Current Practices and Perspectives* de la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea [1] y el documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles (BREF) en los sectores de fabricación de cemento y cal [6]. En el capítulo se incluye información sobre el principal residuo industrial utilizado como combustible sustitutivo o secundario y los procesos industriales y tecnologías correspondientes. También se toman en consideración los beneficios ambientales y económicos y se evalúa su aplicabilidad en los procesos industriales de la región mediterránea.

Vertederos

En este capítulo se recogen los criterios de diseño, explotación y cierre considerados mejores técnicas disponibles (MTD). Las principales fuentes de información a las que se ha acudido son: *BAT Guidance Notes for the Waste Sector: Landfill Activities* (de la Agencia de Protección Ambiental, APA) [4] y *Preparation of a Set of Tools for the Selection, Design and Operation of Hazardous Waste Landfills in Hyper-dry Areas* del Centro regional del Convenio de Basilea para la capacitación y la transferencia de tecnología para los Estados Árabes de El Cairo [5]. Las técnicas y prácticas ambientales respectivas se clasifican en función de las etapas de propias de un vertedero: elementos de gestión de los vertederos de residuos peligrosos, diseño de vertederos, explotación de vertederos y cierre de vertederos. La conclusión ha sido la total aplicabilidad de las mismas a la región mediterránea.

Futuros desarrollos en el sector

También se analizan las técnicas que podrían aparecer en un futuro cercano. En este caso, sólo se disponía de información sobre el tratamiento de residuos y la incineración.

Conclusiones y recomendaciones

Las técnicas y prácticas relativas al diseño de instalaciones y la aplicación de tecnologías que afectan a los procesos operativos son factibles si la instalación se encuentra todavía en fase de proyecto. Los criterios utilizados en el diseño de un vertedero y el diseño de procesos de una planta incineradora son ejemplos representativos al respecto.

La mejora del sector industrial de tratamiento de residuos mediterráneo, en particular de las instalaciones existentes, no implicaría necesariamente una inversión en nuevas tecnologías; la adecuada implantación de herramientas de gestión y de buenas prácticas ambientales en la instalación posiblemente conlleve beneficios ambientales significativos y a un precio razonable en las fases iniciales.

Especial atención merecen las técnicas de reducción de las emisiones (tratamiento de aguas residuales, reducción de emisiones atmosféricas y gestión de residuos) para garantizar el cumplimiento de las disposiciones legales (por ejemplo, los valores límite de las emisiones) establecidos por el país y lograr máxima reducción de las emisiones. Los sistemas de control y seguimiento de estas técnicas contribuyen a hacerlo posible.

Sin embargo, las recomendaciones dirigidas a los responsables de la toma de decisiones en la fase de proyecto de una nueva planta de tratamiento de residuos peligrosos se basan en el conocimiento y en análisis de los siguientes aspectos:

- Las características y las cantidades de residuos peligrosos que habrá que tratar.
- La jerarquía de la gestión de residuos: reducción, reutilización, reciclado, recuperación de energía y, como último recurso, eliminación.
- La ubicación y su entorno.

- La producción deseada.
- Las cuestiones económicas.
- Los requisitos legales del país mediterráneo en cuestión (por ejemplo, los valores límite de las emisiones).

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El Programa de Acciones Estratégicas (PAE) busca facilitar la implantación del Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación Causada por Fuentes y Actividades Situadas en Tierra por parte de los países del PAM. Para ello establece calendarios de prevención, reducción, control o eliminación de los impactos sobre el entorno marino de las actividades situadas en tierra, entre ellos los residuos peligrosos.

En el marco del Programa de Acciones Estratégicas (PAE), el CAR/PL desarrolló el plan para la reducción para 2010 del 20 % de la generación de residuos peligrosos de origen industrial en la región mediterránea [7] en colaboración con Enviro Spain. En este plan se señala el sector de gestión de residuos peligrosos como uno de los sectores industriales que más residuos tóxicos generan, con una producción total estimada de 20 millones de toneladas en los países del PAM (2002).

En este contexto, el CAR/PL preparó la redacción del presente estudio sobre mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA) para el tratamiento de residuos peligrosos en la región mediterránea, con el fin de proporcionar un marco de referencia que ayude a los países del PAM a mejorar sus prácticas de tratamiento de residuos peligrosos.

1.2. DEFINICIONES

En el anexo IV del Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación Causada por Fuentes y Actividades Situadas en Tierra se incluyen determinados criterios para la definición de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales.

Por «mejores técnicas disponibles» se entenderá la última fase de desarrollo (el estado actual de la ciencia y la técnica) de los procedimientos, instalaciones o métodos de explotación que indican que una determinada medida es adecuada en la práctica para limitar las descargas, emisiones y residuos. Para determinar si un conjunto de procedimientos, instalaciones y métodos de explotación constituyen las mejores técnicas disponibles en general o en casos particulares, deberán tenerse especialmente en cuenta:

- a) los procedimientos, instalaciones o métodos comparables que se hayan experimentado recientemente con éxito;
- b) los avances tecnológicos y la evolución de los conocimientos científicos y la comprensión;
- c) la viabilidad económica de dichas técnicas;
- d) los plazos para la instalación tanto en las instalaciones nuevas como en las ya existentes;
- e) la naturaleza y el volumen de las descargas y emisiones en cuestión.

Por «mejor práctica medioambiental» se entenderá la aplicación de la combinación más adecuada de estrategias y medidas de control medioambientales. Al realizar una selección para casos particulares deberán tenerse en cuenta al menos las siguientes medidas escalonadas:

- a) informar y educar al público y a los usuarios sobre las consecuencias para el medio ambiente de la elección de determinadas actividades y productos, su utilización y su eliminación final;

- b) elaborar y aplicar códigos para una práctica medioambiental correcta que abarquen todos los aspectos del ciclo de la vida de un producto;
- c) utilizar obligatoriamente etiquetas en las que se informe a los usuarios de los riesgos para el medio ambiente relacionados con un producto, su utilización y su eliminación final;
- d) ahorrar recursos, incluida la energía;
- e) poner a disposición del público sistemas de recogida y eliminación;
- f) evitar la utilización de sustancias o productos peligrosos y la generación de residuos peligrosos;
- g) reciclar, recuperar y reutilizar;
- h) aplicar instrumentos económicos a actividades, productos o grupos de productos;
- i) establecer un sistema de concesión de autorizaciones en el que se incluya una serie de restricciones o la prohibición.

Por otro lado, el término «mejores técnicas disponibles» se define del siguiente modo en el artículo 2(11) de la Directiva del Consejo 96/61/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC¹): «La fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente».

El artículo 2(11) prosigue con la definición de forma pormenorizada:

- «técnicas»: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada;
- «disponibles»: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables;
- «mejores»: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Por el contrario, el término «mejor práctica ambiental» no se ha definido en el marco de la Unión Europea, si bien debería considerarse que la anterior definición de «técnicas» es lo suficientemente amplia para recoger el concepto de «prácticas».

1.3. OBJETO Y ALCANCE

El presente análisis tiene los objetivos principales siguientes:

- a) Identificar información sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales relativa a los distintos tipos de tratamientos de residuos peligrosos.
- b) Reunir la información disponible para crear un documento de referencia sobre MTD y MPA para las distintas opciones de tratamiento de residuos peligrosos en la región mediterránea.

¹ PCIC, por sus siglas en castellano.

- c) Reflexionar sobre cuestiones concretas respecto al empleo de MTD y MPA en el sector del tratamiento de residuos peligrosos en los países de la cuenca mediterránea.

Los distintos tipos de tratamientos de residuos peligrosos estudiados en este documento se han clasificado en cuatro categorías principales: tratamiento, tratamiento térmico, uso de residuos peligrosos en procesos industriales y vertederos.

Al igual que el citado plan para la reducción para 2010 del 20 % de la generación de residuos peligrosos de origen industrial en la región mediterránea [7], el presente estudio abarca los países del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM): Albania, Argelia, Bosnia-Herzegovina, Croacia, Chipre, Egipto, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Libia, Malta, Mónaco, Marruecos, Palestina, Serbia y Montenegro, Eslovenia, España, Siria, Túnez y Turquía. En este informe, el término «región mediterránea» alude a los países del PAM.

2. EL SECTOR DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El plan para la reducción en 2010 del 20 % de la generación de residuos peligrosos de origen industrial en la región mediterránea [7] desarrollado en el marco del Programa de Acciones Estratégicas (PAE) señala el sector del tratamiento de residuos peligrosos como uno de los sectores industriales que más residuos peligrosos generan. En este contexto, el presente documento pretende servir de marco de referencia sobre técnicas y prácticas ambientales aplicables al sector del tratamiento de residuos peligrosos de la región mediterránea.

El documento se ha estructurado en cuatro capítulos en función de la siguiente clasificación de las prácticas de gestión de residuos peligrosos:

1. **Tratamiento de residuos peligrosos:** abarca las instalaciones dedicadas a tratamientos que generan productos que pueden recuperarse (materiales), utilizarse como combustibles o eliminarse.
2. **Incineración de residuos peligrosos:** abarca las instalaciones dedicadas a tratamientos térmicos como la pirólisis o la gasificación.
3. **Utilización de residuos peligrosos en procesos industriales:** abarca las prácticas de empleo de combustibles derivados de desechos (CDD) en procesos industriales (combustión combinada o procesos que requieren calor).
4. **Vertederos:** abarca los depósitos de residuos, tanto superficiales como enterrados.

Cada capítulo se ha subdividido, además, en secciones en función de las características de las distintas categorías y la información disponible.

1. **Tratamiento de residuos peligrosos:** la información de este capítulo se ha extraído principalmente del documento de referencia sobre mejores prácticas disponibles (BREF)² en las industrias de tratamiento de residuos [2]. Debido a su complejidad y heterogeneidad, se ha subdividido en las categorías siguientes:
 - Técnicas generales.
 - Técnicas para determinados tipos de tratamientos de residuos:
 - Tratamientos biológicos.
 - Tratamientos fisicoquímicos.

² Los documentos BREF son el resultado del intercambio de información organizado por la oficina europea de IPPC sobre la base de la Directiva 96/61/CE (Directiva IPPC) y cuentan con un grupo de trabajo técnico (GTT) especialmente constituido para la ocasión. La Directiva IPPC establece un marco que obliga a los estados miembros a emitir autorizaciones para la explotación de determinadas instalaciones dedicadas a actividades industriales recogidas en el anexo 1. Estas autorizaciones deben fundamentarse en condiciones basadas en las mejores técnicas disponibles (MTD) con el fin de lograr un elevado nivel de protección del medio ambiente en su conjunto.

- Tratamientos utilizados en el intercambio de residuos con el fin de permitir el reciclado o la regeneración de los materiales.
- Tratamientos utilizados para convertir los residuos en materiales que sirvan de combustible.
- Técnicas de reducción de la contaminación.

De entre las técnicas y prácticas recopiladas, las consideradas MTD³ en el BREF se han organizado en forma de tablas por categorías. Cada una de ellas incluye una breve descripción, una evaluación de la aplicabilidad en el sector mediterráneo de tratamiento de residuos peligrosos, los correspondientes beneficios ambientales y una valoración económica. Se ha mantenido la numeración original de las MTD recogida en el BREF a lo largo de todo el presente documento para facilitar la búsqueda de información en el documento de referencia.

2. **Incineración de residuos peligrosos:** los datos de este capítulo se ha extraído principalmente del documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles el sector de la incineración de residuos [3]. En él se analizan los tratamientos técnicos mediante incineración más utilizados actualmente y también información sobre la gasificación y la pirólisis. Las técnicas y prácticas recogidas se han subdividido a partir de las principales fases del proceso de incineración:

- Técnicas generales.
- Fase de tratamiento térmico.
- Fase de recuperación de la energía.
- Generadores de vapor y extinción por enfriamiento súbito de los incineradores de residuos peligrosos.
- Tratamiento de los gases de combustión (TGC) y sistemas de control aplicados.
- Tratamiento de aguas residuales y técnicas de control.
- Tratamiento de residuos sólidos y técnicas de control.
- Técnicas de control y seguimiento.

De las técnicas descritas, las consideradas mejores técnicas disponibles (MTD) en el documento BREF figuran en las tablas de los distintos capítulos, que incluyen una breve descripción, una valoración de la aplicabilidad en el sector mediterráneo de la incineración de residuos peligrosos, los beneficios ambientales y una valoración económica al respecto. Se ha mantenido la numeración original de las MTD, tal y como consta en el BREF, en todo el presente documento para facilitar las correspondientes búsquedas en el documento de referencia, si bien en algunos apartados la numeración no es sucesiva.

3. **La utilización de residuos peligrosos en procesos industriales** se centra principalmente en el empleo de residuos peligrosos como combustible secundario. La información correspondiente se ha recopilado principalmente a partir de dos fuentes: el documento *Refuse Derived Fuel, Current Practices and Perspectives* de la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea [1] y el documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles (BREF) en los sectores de fabricación de cemento y cal [6]. En el capítulo se describen los principales residuos industriales utilizados como combustibles sustitutos o secundarios y los procesos industriales y tecnologías correspondientes. También se analizan los beneficios ambientales y económicos y se evalúa la aplicabilidad en los procesos industriales de la región mediterránea.

- Utilización de combustibles secundarios.

³ El BREF no alude a la categoría de MPA, aunque el término MTD engloba tanto las técnicas como las prácticas.

- Sectores industriales que utilizan residuos peligrosos.
 - Tecnologías.
 - Evaluación ambiental.
 - Evaluación económica.
4. Los **vertederos** también se consideran un tipo de tratamiento de residuos peligrosos, por lo que en este capítulo se incluyen los criterios de diseño, explotación y cierre de vertederos considerados MTD. Las fuentes de información en este caso son las siguientes: *BAT Guidance Notes for the Waste Sector: Landfill Activities* (de la Agencia de Protección Ambiental, APA) [4] y *Preparation of a Set of Tools for the Selection, Design and Operation of Hazardous Waste Landfills in Hyper-dry Areas* del Centro regional del Convenio de Basilea para la capacitación y la transferencia de tecnología para los Estados Árabes de El Cairo [5]. Las técnicas y prácticas ambientales respectivas se han clasificado en función de las etapas de propias de un vertedero:
- Elementos de gestión de vertederos de residuos peligrosos.
 - Diseño de vertederos.
 - Vertederos en explotación.
 - Cierre de vertederos.

3. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Este capítulo estudia las técnicas y prácticas de tratamiento de residuos peligrosos que se considera que proporcionan un elevado nivel de protección del medio ambiente.

Los siguientes apartados se han clasificado a partir de las categorías de técnicas indicadas en el BREF [2]. Las principales técnicas descritas y designadas como MTD se resumen al final de cada sección. La descripción de las MTD incluye un análisis de sus beneficios ambientales así como una evaluación económica. Además, se analiza también su aplicabilidad en el sector del tratamiento de residuos peligrosos de la región mediterránea.

Por lo general, la información sobre MTD disponible, por lo que respecta a los tratamientos de residuos, no distingue aquellas técnicas especialmente vinculadas a los residuos peligrosos, en especial las técnicas generales, ya que normalmente pueden utilizarse en el proceso de tratamiento independientemente de la peligrosidad del residuo. A pesar de todo, a lo largo de todo el presente análisis se ha señalado cualquier referencia relativa a los residuos peligrosos.

3.1. TÉCNICAS GENERALES

Las técnicas generales corresponden a fases de procesos del sector de residuos que se utilizan de forma generalizada y que no son específicas de un tratamiento de residuos concreto (por ejemplo, recepción, mezcla, clasificación, almacenamiento, sistema energético, gestión), sino que tienen que ver con tratamientos y actividades previos o tratamientos y actividades posteriores habitualmente utilizados en el sector del tratamiento de residuos. Se trata, por ejemplo, de técnicas utilizadas para el reempaqueado, triturado, tamizado, secado, mezclado, homogeneización, desguace, fluidificación, lavado, enfardado, reagrupamiento y almacenamiento, transporte, recepción y control de trazabilidad, así como técnicas empleadas en las instalaciones de tratamiento de residuos.

3.1.1. Gestión ambiental

Las técnicas y prácticas generales asociadas a la gestión ambiental normalmente consisten en la implantación de buenas técnicas y herramientas, ambientales y de gestión, y sistemas de gestión ambiental (SGA). Los SGA son herramientas útiles para que los titulares puedan encarar cuestiones como el diseño, la construcción, el mantenimiento, la explotación o el desmantelamiento de una forma sistemática y demostrable, evitando las emisiones y participando en la mejora del rendimiento ambiental de la instalación.

Dado que estas técnicas se basan principalmente en herramientas de gestión, son aplicables a todas las plantas y tipos de instalaciones industriales. Por ello, si se considerara que su alcance y tipo deberían guardar relación con la naturaleza, escala y complejidad de la instalación, además de con los distintos impactos ambientales que provoque, su implantación sería factible en todas las instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos de la región mediterránea.

Las MTD relativas a la gestión ambiental se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: MTD de gestión ambiental

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
1.- Implantación y cumplimiento de un sistema de gestión ambiental (SGA).	El mantenimiento y la observancia de un SGA a través de procedimientos operativos bien definidos garantizan el cumplimiento en todo momento de las condiciones de concesión del permiso y otros objetivos ambientales al tener en cuenta el impacto ambiental, las tecnologías limpias y los referentes sectoriales.	Dificultades a la hora de determinar los costes y los beneficios económicos.
2.- Asegurar la aportación de datos sobre las actividades llevadas a cabo en la planta.	Ayuda a evaluar las propuestas de los titulares y, en especial, las oportunidades de nuevas mejoras.	n. d. ⁴
3.- Procedimientos de buenas prácticas y programa de formación adecuado: a) Muestreo. b) Instalaciones receptoras. c) Técnicas de gestión. d) Empleo de personal cualificado. e) Procesos de manipulación asociados a la transferencia a/de bidones/recipientes. f) Técnicas para mejorar el mantenimiento de los productos almacenados.	a) Conocer bien los residuos evita problemas durante el tratamiento. b) La identificación del origen, la composición y la peligrosidad de los residuos evitan aprobaciones sin información por escrito. c) Aumento de la concienciación ambiental. d) Mejora del rendimiento ambiental de las instalaciones. e) Se evitan las emisiones fugitivas y se previenen descargas y reacciones. f) Se evitan las emisiones fugitivas.	Costes variables (para obtener más información sobre las instalaciones de muestreo y recepción véanse las MTD n.º 9 y 10).
4.- Estrecha relación con quien genera/almacena los residuos.	Intentar influir sobre quien genera o almacena los residuos puede ayudar a evitar tener que recurrir a soluciones costosas para el tratamiento de los residuos.	Ello disminuye el coste del tratamiento de los residuos.
5.- Personal suficiente (disponible y en servicio) y convenientemente cualificado en todo momento. (Véase además la MTD n.º 3)	La protección ambiental depende de la buena gestión de las instalaciones y, como resultado, de la adecuada cualificación de los trabajadores.	El personal cualificado es más caro. Los costes de formación también implican ciertos gastos.

⁴ No disponible

3.1.2. Conocimiento de las características de los residuos de entrada

Conocer las características de los residuos de entrada es necesario para identificar y analizar qué tipo de control puede efectuarse durante el proceso de tratamiento. El objetivo final es caracterizar adecuadamente los distintos tipos de residuos para optimizar la eficacia del proceso y evitar cualquier posible fuga. Los controles de entrada de los residuos pueden implantarse desde la fase de admisión previa y de llegada de los residuos a las instalaciones hasta el envío final de los mismos e incluyen los siguientes procedimientos:

- Caracterización de la composición de los residuos.
- Procedimiento de admisión previa.
- Procedimientos de admisión.
- Muestreo.
- Instalaciones receptoras.

Sería factible aplicar todos estos tipos de técnicas a los países del Mediterráneo, si bien el grado de implantación dependerá de los recursos de que disponga cada planta. El muestreo y los procedimientos de análisis normalmente requieren inversiones significativas en equipos analíticos, además de suponer costes operativos. Pueden aplicarse a cualquier tipo de residuo, pero se recomiendan especialmente para los de tipo peligroso. La tabla 3.2 muestra las MTD correspondientes.

Tabla 3.2: MTD para mejorar el conocimiento de las características de los residuos de entrada

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>6.- Tener conocimientos reales de las características de los residuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procesos de laboratorio. • Elección de aceites residuales para volver a refinar (rerefino). • Elección de la materia prima residual de los sistemas biológicos. 	<p>Disponer de un laboratorio en las instalaciones es una garantía para que los necesarios controles de entrada de los procesos se implanten correctamente y los residuos de salida sean homogéneos.</p> <p>La mejora de la materia prima residual puede potenciar el rendimiento ambiental de unas instalaciones así como la calidad del producto.</p> <p>Evita el acceso de compuestos tóxicos a los sistemas biológicos.</p>	n. d.
7.- Implantación de un procedimiento de admisión previa.	Ayuda a los titulares a identificar y aceptar sólo los residuos adecuados para un determinado tratamiento.	Coste de administración adicional (empaquetado, etiquetado).
8.- Implantación de un procedimiento de admisión.	Confirma las características de los residuos previamente aprobados y evita la aceptación de residuos inadecuados. Por otro lado, también evita el rechazo y la devolución de residuos.	Los costes de caracterización y análisis de residuos son elevados.
9.- Implantación de distintos procedimientos de muestreo. (Véase también la MTD n.º 3)	Conocer bien las características de los residuos evita problemas durante el tratamiento.	Para la toma de muestras se necesitan equipos de laboratorio especiales.
10.- Disponer de instalaciones de recepción. (Véase también la MTD n.º 3)	Identificar el origen, la composición y el nivel de riesgo de los residuos evita su admisión sin documentación escrita.	<p>Los costes de explotación son relativamente bajos, básicamente de tipo administrativo.</p> <p>EJEMPLO: para unas instalaciones de tratamiento de aceite usado con una capacidad de 10 000 t/año⁵, el desembolso de capital aproximado de un laboratorio analítico sería de aproximadamente 40 000 GBP, con un coste de explotación de 20 000 GBP; el equipo de monitorización continua tiene unos costes de capital de 10 000 GBP y unos costes de explotación de 10 000 GBP.</p>

⁵ t/año: toneladas/año

3.1.3. Conocimiento de las características de los residuos de salida

Estas técnicas consisten en analizar los residuos de salida en función de una serie de parámetros relevantes para las instalaciones receptoras. Normalmente se limitan al análisis de la composición básica y de otros parámetros como el contenido de energía, de agua o de sustancias orgánicas e inorgánicas, etc.

Otras técnicas de caracterización de residuos se basan en procedimientos de identificación de componentes primarios y del origen de los residuos, además de en garantizar que la información necesaria sobre los residuos se transmite entre los distintos encargados de su almacenamiento.

Estos tipos de técnicas pueden aplicarse a la mayoría de instalaciones de tratamiento de residuos de los países mediterráneos; la única limitación es la propia de los elevados costes de inversión y de adquisición de equipos analíticos. La tabla 3.3 muestra las MTD correspondientes.

Tabla 3.3: MTD para determinar las características de los residuos de salida

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
11.- Análisis de los residuos de salida en función de los parámetros relevantes para las instalaciones receptoras.	De este modo mejora la comprensión de los peligros ambientales potenciales de los residuos sometidos a tratamiento y se reduce el riesgo de accidentes o procedimientos erróneos.	La inversión en equipo analítico de unas instalaciones de tratamiento de aceite usado rondaría los 750 000 EUR por planta.

3.1.4. Sistemas de gestión

Las técnicas de gestión suelen aplicarse a las instalaciones de tratamiento de residuos en su conjunto. Su objetivo es optimizar la eficacia del proceso, así como evitar emisiones ambientales.

Suele tratarse de procedimientos relativos a las siguientes cuestiones:

- Trazabilidad del tratamiento de los residuos.
- Reglas de mezcla/combinación.
- Separación de procesos y compatibilidad.
- Mejora de la eficacia de los tratamientos de los residuos.
- Plan de gestión en caso de accidente.
- Diario de incidentes.
- Plan de gestión de los ruidos y las vibraciones.
- Toma en consideración de posibles cierres definitivos futuros.

Algunas de estas prácticas pueden ser de difícil adopción por parte de las instalaciones más pequeñas a causa de los requisitos informáticos, por ejemplo, los sistemas de trazabilidad para el tratamiento de los residuos o mecanismos mejora de la eficacia de los tratamientos mediante balances de masa y análisis del flujo de material, especialmente en la región mediterránea. Otras, como la separación de procesos y la compatibilidad o las reglas de mezclado son aplicables a todas las instalaciones. Destacan los planes de gestión en caso de accidente y los diarios de incidentes, cuestiones de vital importancia para las instalaciones que manipulan residuos peligrosos. El conjunto de MTD correspondientes a esas técnicas se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: MTD para los sistemas de gestión

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
12.- Disponer de un sistema operativo que garantice la trazabilidad del tratamiento de residuos.	Permite disponer de pruebas documentales sobre el tratamiento dado a un residuo concreto.	n. d.
13.- Poner en marcha reglas de mezclado con el fin de limitar los tipos de residuos que pueden mezclarse entre sí y así evitar un incremento de las emisiones contaminantes en ulteriores tratamientos de residuos.	La correcta separación de los residuos en origen evita incidentes que podrían provocar que se mezclaran residuos incompatibles.	Algunos residuos sólidos pueden separarse eficazmente introduciendo cambios menores en el equipo. La eliminación de residuos mezclados es más cara que el tratamiento de un flujo formado por un único tipo de residuos.
14.- Habilitar medidas de separación y compatibilidad. (Véanse además las MTD n.º 13 y 24).	Véase la MTD n.º 13.	Véase la MTD n.º 13.
15.- Mejora de la eficacia de los tratamientos de residuos en relación con la inutilidad del producto obtenido, el consumo de materias primas y el análisis del flujo de materiales.	La optimización de las instalaciones de tratamiento de residuos ayuda a conseguir menores niveles de emisiones y consumo.	n. d.
16.- Redacción de un plan de gestión de accidentes estructurado. (Véase también el apartado 3.1.1 sobre gestión ambiental)	Los riesgos ambientales más significativos asociados a los procedimientos de tratamiento de residuos son los propios del almacenamiento de los residuos , por ejemplo: emisiones resultantes de varios tipos de residuos que reaccionan entre sí, fugas o derrames o procesos de tratamiento fuera de control.	n. d.
17.- Disponer y tener al día un diario de incidentes. (Véanse además las MTD n.º 1 y 16)	Véanse las MTD n.º 1 y 16.	Véanse las MTD n.º 1 y 16.
18.- Contar con un plan de gestión de los ruidos y las vibraciones integrado en el SGA. (Véase también la MTD n.º 1)	Reducción de los niveles de ruido generado por las instalaciones.	n. d.
19.- Toma en consideración de posibles cierres definitivos futuros en la fase de diseño. (Véase también la MTD n.º 1)	Evita problemas ambientales durante el cierre definitivo de las instalaciones.	n. d.

3.1.5. Gestión de servicios públicos y materias primas

Estas técnicas se centran principalmente en la gestión energética. El calor y la electricidad son necesarios para el funcionamiento de las instalaciones. Los principales usos de la energía en una planta de tratamiento de residuos son los siguientes:

- Calefacción, iluminación y electricidad para los edificios que componen las instalaciones.
- Electricidad para los procesos de tratamiento y los equipos, por ejemplo bombas, compresores de aire, máquinas centrifugadoras, etc.
- Combustible para el funcionamiento de los vehículos.

El adecuado diseño y los sistemas de gestión energética son aspectos importantes de cara a minimizar el impacto ambiental de las instalaciones de tratamiento de residuos.

A continuación se detallan algunas técnicas relativas a la energía y las materias primas:

- Conocer de forma desglosada el consumo y la procedencia de la energía, según su origen.
- Utilización de combustibles más limpios.
- Empleo de residuos como combustible.
- Medidas para mejorar la eficiencia energética (por ejemplo, establecer un plan de eficiencia energética, etc.).
- Elección de las materias primas.
- Técnicas para reducir el uso de agua y evitar la contaminación hídrica.

En teoría, estas técnicas son aplicables a la totalidad de los sectores de tratamiento de residuos; en la práctica, sin embargo, aparecen algunas dificultades como la asignación del consumo de energía a actividades o procesos únicos desarrollados en las instalaciones existentes. A pesar de los elevados costes de inversión que suponen, son técnicas especialmente apropiadas para los países mediterráneos que preparan proyectos de nuevas instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos. La tabla 3.5 muestra las MTD correspondientes.

Tabla 3.5: MTD para la gestión de servicios públicos y materias primas

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>20.- Disponer de información desglosada sobre el consumo y la generación de la energía (excepto la exportada) por origen (electricidad, gas, combustibles líquidos convencionales, combustibles sólidos convencionales y residuos). (Véase también la MTD n.º 1)</p>	<p>Puede contribuir a optimizar la relación entre generación y consumo y, por tanto, optimizar el uso de recursos energéticos.</p>	<p>Los requisitos necesarios son básicos, poco costosos.</p>
<p>21.- Aumentar constantemente la eficiencia energética de las instalaciones mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el desarrollo de un plan de eficiencia energética; • el empleo de técnicas que reduzcan el consumo de energía y, por tanto, las emisiones directas e indirectas; • la definición y el cálculo del consumo de energía específico de las actividades. <p>(Véase también la MTD n.º 20)</p>	<p>Poner en práctica un plan de eficiencia energética y adoptar combustibles más limpios puede reducir el consumo de energía y las emisiones ambientales derivadas del uso de ésta.</p> <p>El aumento de la eficiencia energética de las calderas y calentadores reduce las emisiones de COV.</p>	<p>Normalmente, los sistemas energéticamente eficientes representan costes de capital más elevados. Sin embargo, sus costes de explotación son generalmente más bajos (o los ingresos derivados superiores).</p> <p>Los costes son más elevados en las instalaciones ya existentes que en las nuevas.</p>
<p>22.- Realización de comparaciones internas (por ejemplo, de tipo anual) sobre el consumo de materias primas.</p>	<p>La elección de las materias primas puede:</p> <ul style="list-style-type: none"> • reducir el empleo de sustancias químicas y otros materiales; • sustituir los materiales menos nocivos por otros cuya reducción sea más inmediata; • ayudar a comprender mejor el destino de los subproductos y contaminantes, además de su impacto ambiental; • considerarse una opción preferible en el caso de determinados residuos ácidos (dependiendo del volumen y su grado de contaminación). 	<p>n. d.</p>
<p>23.- Explorar los posibles usos de los residuos como materias primas para el tratamiento de otros residuos.</p> <p>Si los residuos se utilizan en el tratamiento de otros residuos, disponer de un sistema operativo que garantice la disponibilidad del suministro de residuos.</p> <p>(Véase también la MTD n.º 22)</p>	<p>Si los residuos se van a utilizar como reactivos en un proceso de tratamiento, no disponer de ellos podría retrasar el proceso de tratamiento del residuo en cuestión. Este retraso puede traer consigo otros problemas ambientales asociados.</p>	<p>Por ejemplo, la garantía de un rendimiento a largo plazo de los sistemas anaeróbicos es un aspecto crucial para su viabilidad económica.</p>

3.1.6. Almacenamiento y manipulación

La aplicación de prácticas ambientales de almacenamiento y manipulación es un aspecto esencial para las instalaciones de tratamiento de residuos. Los principales objetivos de las prácticas ambientales de almacenamiento son los siguientes:

- Almacenar los residuos de forma segura antes de que se utilicen en el tratamiento.
- Proporcionar un tiempo de acumulación apropiado. Por ejemplo, durante los períodos en que los sistemas de tratamiento y del proceso de eliminación no están operativos o cuando transcurre cierto tiempo entre el tratamiento de los residuos y el envío.
- Desvincular el tratamiento del envío de los residuos.
- Permitir el uso efectivo de los procedimientos de clasificación durante los períodos de almacenamiento/acumulación.
- Facilitar los procesos de tratamiento continuos. En estos procesos es imposible reaccionar a los cambios repentinos y significativos en la composición y la reacción de los residuos y a la vez garantizar un resultado concreto del tratamiento. Por este motivo es necesario lograr y garantizar la homogeneización de las diferentes propiedades y niveles de tratamiento de los residuos procediendo a su almacenamiento/acumulación inmediatos.
- Facilitar el mezclado y el reempaquetado de los residuos cuando sean necesarios.
- Permitir la entrada por fases de los distintos tipos de residuos mediante reactivos a las unidades de tratamiento subsiguientes.
- Acumular una cantidad razonable de residuos antes de su envío a determinados tratamientos (estaciones de transferencia).
- Reducir las emisiones fugitivas, fugas, el volumen de agua potencialmente contaminado generado en caso de derrame y prolongar la vida útil del recipiente, la contaminación del suelo y del agua a causa de derrames de importancia o incidentes que supongan una pérdida de contención considerable.

A continuación figuran algunas de las técnicas ambientales habituales relativas al almacenamiento y la manipulación de residuos:

- Técnicas generales aplicadas al almacenamiento de residuos: especificación de procedimientos de almacenamiento para circunstancias especiales (por ejemplo, días festivos), ubicación de las zonas de almacenamiento lejos de cursos de agua y perímetros sensibles, identificación clara de las zonas de almacenamiento mediante señales que adviertan sobre las características y la peligrosidad de los residuos almacenados, etc. Véase la MTD n.º 24 (tabla 6).
- Técnicas para el almacenamiento en bidones y otros residuos contenedorizados: véase la MTD n.º 24 (tabla 3.6).
- Técnicas para mejorar el mantenimiento de las sustancias almacenadas: establecimiento de procedimientos de inspección y mantenimiento periódicos de zonas de almacenamiento, entre ellas bidones, recipientes, pavimentos y muros de contención; realización de inspecciones diarias del estado de los recipientes y *pallets* y anotación de las mismas en los registros; establecimiento y cumplimiento de una rutina de inspección programada de los depósitos y los contenedores de mezclado y reacción.
- Muros de contención para el almacenamiento de líquidos: véase la MTD n.º 25 (tabla 3.6).
- Restricción del empleo de depósitos, recipientes o fosos abiertos.
- Técnicas generales aplicadas al almacenamiento de residuos: continuación del sistema de seguimiento iniciado en la fase de admisión previa, establecimiento de un sistema de gestión para la carga y descarga de residuos en las instalaciones, creación de zonas de almacenamiento de emergencia para posibles fugas en vehículos para minimizar así incidentes mayores, etc. Véase la MTD n.º 28 (tabla 3.6).
- Manipulación de residuos sólidos: garantizar que el amontonamiento de diferentes lotes de residuos sólo se produzca previo análisis de su compatibilidad, no añadir residuos líquidos a

los sólidos, utilizar los sistemas de ventilación de escape de la planta para el control del olor y el polvo, descargar los residuos sólidos y lodos en un edificio cerrado y despresurizado, etc.

- Manipulación de residuos mediante transferencia a/de bidones o contenedores: véase la MTD n.º 31 (tabla 3.6.).
- Descarga automática de bidones (qué debería incluir una estación completa): una estación de suministro de bidones accionada neumáticamente, una estación de sujeción de los bidones equipada de una pinza hidráulica, una estación de corte, raspado, lavado y expulsión de residuos de bidones, una estación de eliminación, raspado y limpiado a alta presión de la carcasa de los bidones, una estación para el prensado y la extracción de los bidones limpios, una cabina de control, un sistema de prevención de emisiones de COV.
- Técnicas para la mejora del control del material almacenado: por lo que respecta a los residuos líquidos a granel, el control del material almacenado consiste en mantener un registro del recorrido que siguen a lo largo de todo el proceso, habilitar una mayor capacidad de almacenamiento para casos de emergencia, anotar claramente en una etiqueta la fecha de llegada de todos los contenedores, incluir los códigos de peligrosidad pertinentes, recurrir al llenado excesivo de bidones como medida de emergencia, monitorización automática de los niveles de los depósitos de almacenamiento y tratamiento dotados de indicadores de nivel, etc.
- Control informatizado de las zonas de almacenamiento elevadas para residuos peligrosos. El centro de logística, cuando existen distintas plantas de tratamiento combinadas, consiste en una zona de almacenamiento elevada controlada informáticamente donde se guardan los residuos peligrosos. En esta zona se identifican, pesan, fotografían y muestrean todas las sustancias antes de su almacenamiento. De especial importancia resulta el laboratorio interno, en el que se analizan las muestras de las distintas sustancias residuales antes de su eliminación o recuperación con el fin de conocer las propiedades exactas de las mismas y determinar el proceso de tratamiento más adecuado. El laboratorio también se encarga de idear sistemas de limpiado en colaboración con los demás departamentos.
- Etiquetado de depósitos y canalizaciones utilizadas en el proceso: todos los recipientes deberían estar claramente etiquetados por lo que respecta a su contenido y capacidad y distinguirse a través de un identificador exclusivo. La etiqueta debería diferenciar entre aguas residuales y aguas generadas en los procesos, líquidos inflamables y vapores inflamables, así como indicar la dirección del flujo. Es necesario mantener un registro documental de todos los depósitos en el que conste un identificador exclusivo, se utilice un sistema de codificación de canalizaciones apropiado y se etiqueten todas las válvulas mediante identificadores exclusivos; todo ello debe enmarcarse en los procesos y los diagramas de los instrumentos, y todas las conexiones deben examinarse y conservarse adecuadamente para que estén en perfecto estado.
- Realización de una prueba de compatibilidad con anterioridad a la transferencia de material: se mezcla una muestra obtenida del depósito/recipientes/contenedor receptor de forma proporcional con una muestra obtenida del flujo de residuos de entrada que se prevén añadir al depósito/recipientes/contenedor; el contenido de las dos muestras deberá cubrir la situación de «peor de los casos posibles» y cualquier gas desprendido, así como la causa de los posibles olores, deberá identificarse, etc.
- Separación del material almacenado. Uno de los aspectos claves para el almacenamiento seguro de residuos es la compatibilidad. Debe ser doblemente analizada: por un lado, la compatibilidad de los residuos con el material empleado para fabricar el contenedor con el que entra en contacto y, por otro, la compatibilidad de los residuos con otros residuos almacenados conjuntamente. Véase la MTD n.º 30 (tabla 3.6).

Las MTD correspondientes a las anteriores técnicas se muestran en detalle en la tabla 3.6. Se trata de técnicas muy recomendables para los países de la cuenca mediterránea, además de factibles, especialmente para el sector del tratamiento de residuos peligrosos.

Tabla 3.6: MTD de almacenamiento y manipulación

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>24.- Adopción de técnicas relativas al almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dotar a las zonas de un correcto sistema de drenaje y de todas las medidas necesarias en función de los riesgos (olores, emisiones volátiles, temperatura de inflamación baja). • Todas las conexiones entre recipientes deben poder cerrarse por medio de válvulas. 	<p>Almacenar los residuos de forma apropiada y segura contribuye a reducir las emisiones fugitivas (p. ej., de COV, olores, polvo), además del riesgo de fugas. El almacenamiento separado es necesario para evitar problemas derivados de la reacción de sustancias incompatibles y es un medio de evitar reacciones en cadena en caso de que se produzca un incidente.</p>	<p>n. d.</p>
<p>25.- Las zonas de decantación de líquidos y de almacenamiento deben aislarse mediante muros de contención impermeables y que sean resistentes a los materiales que contienen.</p>	<p>De este modo se reduce la contaminación del suelo y del agua a causa de derrames graves o incidentes que impliquen una pérdida de contención.</p>	<p>n. d.</p>
<p>26.- Adopción de técnicas relativas al etiquetado de depósitos y canalizaciones del proceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etiquetar claramente todos los recipientes (contenido, capacidad). • Mantener un registro exhaustivo de todos los depósitos. 	<p>Estos sistemas propician, por parte del titular, un mejor conocimiento del proceso en su conjunto y contribuyen a reducir accidentes y a controlar las emisiones.</p>	<p>n. d.</p>
<p>27.- Adopción de medidas para evitar posibles problemas derivados del almacenamiento/acumulación de residuos. Puede entrar en conflicto con la MTD n.º 23 cuando los residuos se utilizan de reactivo.</p>	<p>Evita posibles emisiones durante los procesos de almacenamiento.</p>	<p>n. d.</p>
<p>28.- Adopción de técnicas relativas a la manipulación de residuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implantación de sistemas y procedimientos, sistema de gestión de la carga y descarga de residuos, personal cualificado y comprobación de que ningún tubo, válvula o conexión dañados se utilicen. • Captura de gases de escape procedentes de recipientes y depósitos (residuos líquidos). • Descarga de sólidos y lodos en áreas cerradas dotadas de sistemas de extracción. 	<p>La correcta y segura manipulación de los residuos ayuda a reducir las emisiones fugitivas y el riesgo de fugas. El almacenamiento por separado es necesario para evitar incidentes provocados por la reacción de sustancias incompatibles y como medio de prevención del efecto escala en caso de que se produzca un incidente.</p> <p>La correcta y segura manipulación de los residuos sólidos evita posibles incidentes, además de emisiones fugitivas.</p> <p>Los sistemas de reducción habituales pueden conectarse a los sistemas de ventilación de los depósitos para limitar</p>	<p>n. d.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
	<p>las pérdidas de disolvente a la atmósfera a causa de posibles desplazamientos al llenar los depósitos y cisternas. Las plantas donde se manipulan residuos en polvo cuentan con campanas, filtros y sistemas de extracción especiales.</p> <p>La mayoría de plantas se construyen sobre losas de hormigón.</p>	
<p>29.- Garantizar que el amontonamiento/mezclado con residuos envasados sólo se produzca bajo la supervisión y las instrucciones necesarias y por parte de personal formado.</p> <p>Ciertos tipos de residuos obligan a recurrir al sistema de ventilación de escape de la planta.</p>	<p>De este modo se evitan las emisiones fugitivas, al minimizarse las salpicaduras, los humos y los olores, además de problemas de salud y seguridad; también se evitan descargas o reacciones imprevistas.</p>	n. d.
<p>30.- Garantizar que las incompatibilidades químicas guíen la separación necesaria durante el almacenamiento.</p> <p>(Véase también el apartado 3.1.4 sobre sistemas de gestión)</p>	<p>La realización de un ensayo de compatibilidad antes de la transferencia evita cualquier reacción o descarga adversa o inesperada antes de la introducción de los residuos en los depósitos de almacenamiento.</p> <p>Afecta a las descargas de almacenamiento a granel, las transferencias entre depósitos y de contenedores a depósitos a granel, el amontonamiento en bidones/IBC y el amontonamiento de residuos sólidos en bidones o cubetas.</p> <p>Los recipientes que contengan líquidos inflamables se almacenan por separado para evitar que entren en contacto a consecuencia de fugas.</p> <p>(Véase también la MTD n.º 28)</p>	n. d.
<p>31.- Adopción de las siguientes técnicas al manipular residuos contenedorizados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de los residuos contenedorizados bajo cubierta (en caso necesario: sensibilidad a la luz, el calor, la temperatura, el agua). • Asegurar la capacidad y el acceso de las zonas de almacenamiento de contenedores de sustancias que se sabe que son sensibles al calor, la luz y el agua, bajo cubierta y protegidos del calor y de la luz del sol directa. 	<p>El almacenamiento bajo cubierta reduce la cantidad de agua potencialmente contaminada que podría producirse en caso de derrame y prolonga la vida útil del contenedor. Algunas técnicas evitan las posibles emisiones generadas por el almacenamiento conjunto de sustancias incompatibles que podrían reaccionar.</p> <p>Existen otros beneficios asociados a evitar la contaminación del suelo.</p>	n. d.

3.1.7. Separación y compatibilidad

Estas técnicas evitan que se mezclen los residuos con el objetivo de facilitar posteriores tratamientos y evitar otros posibles problemas. El principio de la separación y la compatibilidad es el siguiente: mezclar una pequeña cantidad de residuos peligrosos con una cantidad mayor de residuos no peligrosos crea una gran cantidad de material que deberá tratarse como residuos peligrosos. Éstas son algunas de las cuestiones que plantean las técnicas:

- No convertir los residuos en líquidos si son secos.
- Etiquetar adecuadamente todas las cadenas y contenedores.
- Permitir únicamente el mezclado de residuos contaminados de diferentes grados de contaminación cuando los residuos resultantes se traten de acuerdo con el procedimiento previsto para el material más contaminado.
- Mantener el agua de refrigeración alejada de los flujos de residuos.
- Tener en cuenta o adoptar la separación al almacenar los materiales.
- Disponer de reglas que restrinjan los tipos de residuos que pueden mezclarse entre sí.

Se trata de un principio esencial y fácil de implantar a través del establecimiento de procedimientos documentados y la formación del personal, que contribuyen en gran medida a la reducción de la contaminación en origen. Es aplicable a todas las plantas de tratamiento de sustancias peligrosas de la región mediterránea. Los beneficios ambientales son considerables si los residuos son peligrosos.

3.1.8. Técnicas de mejora ambiental de otras técnicas habituales

Este apartado analiza la reducción de las emisiones ambientales a partir de dos fases distintas del proceso de tratamiento de los residuos: la trituración de bidones y los procesos de lavado.

Las MTD correspondientes a estas técnicas se detallan en la tabla 3.7. Normalmente se recomienda su empleo en instalaciones que realicen ese tipo de operaciones.

3.1.8.1. Técnicas de reducción de las emisiones generadas por los procesos de trituración

Estas técnicas reducen las emisiones de COV (compuestos orgánicos volátiles) a la atmósfera y la contaminación de los cursos de agua y el suelo.

Son varias las técnicas que permiten reducir las emisiones generadas durante los procesos de trituración de bidones:

- Habilitar una planta de trituración completamente cerrada y dotarla de un sistema de extracción del aire enlazado con el equipo de reducción de las emisiones.
- Mantener tapadas las cubetas para el almacenamiento de bidones triturados.
- Utilizar drenaje escalonado.
- Evitar triturar bidones que contengan residuos inflamables o muy inflamables o sustancias volátiles.

En el tratamiento de los residuos peligrosos en las instalaciones de trituración pueden aplicarse además las siguientes técnicas:

- Canal a prueba de sobrepresiones a una altura de 12 m para evitar posibles desperfectos.
- Resistencia a la presión de las instalaciones (hasta 10 bar).
- Funcionamiento por lotes del triturador para minimizar la exposición.
- Sistemas de alarma antiincendios e instalación de rociadores automáticos.

- Conexión en línea con el servicio de protección civil más cercano.
- Interruptores, conjuntos y máquinas a prueba de explosiones.
- Cabinas con sobrepresión, con filtros de carbón activado en todas las máquinas.
- Agua antiincendios almacenada en un depósito subsuperficial (50 m³).
- Inundación permanente con nitrógeno del espacio de trabajo interno del triturador.

3.1.8.2. Técnicas para la reducción de las emisiones generadas en los procesos de lavado

Estas técnicas permiten identificar y tratar los residuos del lavado, por ejemplo mediante:

- la identificación de los componentes que podrían estar presentes en los elementos que se someterán al lavado (p. ej. disolventes);
- la transferencia de los residuos lavados a la zona de almacenamiento adecuada;
- el uso de las aguas residuales tratadas procedentes de la planta de tratamiento de residuos.

Tabla 3.7: MTD para la mejora ambiental de otras técnicas habituales

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>32.- Realizar los procesos de trituración y tamizado en áreas que dispongan de sistemas de extracción del aire enlazados a los equipos de reducción de las emisiones al manipular materiales que podrían generar emisiones atmosféricas (p. ej. olores, polvo, COV).</p>	<p>Así se reducen las emisiones de COV a la atmósfera y la contaminación de los cursos de agua y el suelo.</p>	<p>EJEMPLO de instalaciones de trituración: la capacidad de la planta es de 5000 Mg/a⁶. La cantidad de residuos peligrosos tratada es de 1000 t/a. La planta de tratamiento requiere una inversión de 325 000 EUR.</p> <p>EJEMPLO de instalaciones de trituración de envases aerosoles: la capacidad de la planta es de 500 t/a. La planta de tratamiento requiere una inversión de 500 000 EUR</p>
<p>33.- Realizar los procesos de trituración en espacios completamente cerrados bajo una atmósfera inerte para los bidones/contenedores que contengan sustancias inflamables o muy volátiles. De este modo se impide su ignición. La atmósfera inerte deberá someterse a reducción de la contaminación.</p> <p>(Véase también la MTD n.º 32 y el apartado sobre tratamiento de las emisiones atmosféricas)</p>	<p>Véase la MTD n.º 32.</p>	<p>Véase la MTD n.º 32.</p>
<p>34.- Al realizar el proceso de lavado, tener en cuenta los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los componentes de lavado que podrían estar presentes en los elementos que deben someterse a lavado (p. ej. disolventes). • Transferir las aguas de lavado a la zona de almacenamiento adecuada. • Utilizar las aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento de residuos en vez de agua corriente. 	<p>Permite identificar y tratar los residuos del lavado.</p>	<p>n. d.</p>

⁶ Mg/a: megagramos/año

3.1.9. Técnicas para prevenir accidentes y sus consecuencias

Estas técnicas son necesarias para prevenir accidentes que tendrían consecuencias ambientales o bien para reducir su gravedad una vez se han producido. A continuación se detallan algunas de las técnicas correspondientes:

- Desarrollar un plan estructurado de gestión de accidentes: identificar los peligros para el entorno que representan las instalaciones, valorar todos los riesgos de accidente y sus posibles consecuencias.
- Disponer de un sistema documentado que haga posible identificar, evaluar y minimizar los riesgos ambientales y el peligro de accidentes, así como sus consecuencias.
- Mantener un inventario de sustancias.
- Almacenar por separado los residuos y sustancias incompatibles en función de su potencial de riesgo: los residuos de tipos incompatibles deben almacenarse en cubículos independientes o bien en edificaciones especiales. Los requisitos mínimos de almacenamiento son un perímetro elevado y un sistema de recogida de líquido de drenaje independiente.
- Habilitar adecuadamente las áreas de almacenamiento de materias primas, productos y residuos.
- Utilizar un sistema automático controlado por microprocesador para procesar las lecturas de los mecanismos de control de las válvulas y del nivel de los depósitos; por ejemplo, indicadores ultrasónicos, alarmas de sobrellenado o dispositivos de bloqueo de procesos.
- Documentación de las medidas de control implantadas que incluya una evaluación de las mismas y un dictamen de adecuación.
- Proporcionar la contención adecuada: por ejemplo, mediante muros de contención, pozas de sedimentación o edificaciones.
- Aplicar técnicas y procedimientos para evitar el llenado excesivo de los depósitos de almacenamiento, por ejemplo sistemas de medición del nivel, alarmas independientes de sobrellenado, cierres elevados o medidores de lotes.
- Mantener actualizado un diario o registro de las instalaciones donde consten todos los incidentes, cuasi-incidentes, cambios en los procedimientos, anomalías y el resultado de las inspecciones de mantenimiento. Las fugas, derrames y accidentes pueden registrarse en este diario.
- Establecimiento de procedimientos de identificación, respuesta y asimilación de incidentes.
- Clarificar los cometidos y responsabilidades del personal que participa en la gestión de accidentes.
- Proporcionar formación al personal.

Se trata de técnicas de carácter general aplicables a todos los sectores de tratamiento de residuos; algunas de ellas son de vital importancia para el tratamiento de los residuos peligrosos. Además de por motivos ambientales, la prevención de accidentes es la principal fuerza impulsora de su aplicación; se consideran, por tanto, técnicas indispensables para la mejora del sector de tratamiento de residuos peligrosos de la región mediterránea.

3.1.10. Técnicas para la reducción de ruidos y vibraciones

Las empresas que disponen de un SGA operativo normalmente cuentan también con un plan de gestión del ruido. Éste debería incluir:

- Una descripción de las principales fuentes de ruido y vibraciones de las instalaciones (tanto para operaciones habituales como infrecuentes).
- Información detallada acerca de las inspecciones y mediciones del ruido, investigaciones realizadas o modelos.

Puesto que representan técnicas de control inicial de parámetros generales para las instalaciones, su aplicación resulta factible en las instalaciones mediterráneas.

3.1.11. Técnicas para el cierre definitivo

Estas técnicas pretenden minimizar los impactos ambientales asociados al cierre definitivo de la planta. Algunas de ellas son:

- Tomar en consideración el cierre definitivo en la fase de diseño, lo que implica la preparación de planes apropiados de minimización de riesgos en el momento del desmantelamiento.
- En las instalaciones existentes, poner en marcha un programa de mejoras del diseño.
- Desarrollar un plan de cierre que demuestre que, en el estado actual, las instalaciones pueden desmantelarse para evitar riesgos de contaminación y devolver el terreno en que se ubican a un estado satisfactorio.
- Establecimiento de las medidas propuestas para evitar riesgos de contaminación y devolver el terreno en que se ubican las instalaciones a un estado satisfactorio (que incluyan, cuando sea necesario, medidas relativas al diseño y a la construcción de la planta).
- Desarrollo de planes para la limpieza de los residuos almacenados en depósitos y cualquier contaminación resultante de las actividades de tratamiento de residuos.
- Asegurar que las plantas y el equipo retirados de funcionamiento se descontaminen y retiren de las instalaciones.

Estas técnicas son aplicables a todas las fases del proceso de tratamiento de residuos de unas instalaciones, desde su diseño y construcción hasta el cierre definitivo. Son especialmente indicadas para aquellos países de la cuenca mediterránea que estén cerrando plantas obsoletas y diseñando otras nuevas.

3.1.12. Técnicas habituales

Este apartado se subdivide basándose en tres técnicas distintas: tratamiento de pequeños residuos, reducción del volumen de residuos y otras técnicas habituales (limpiado, reempaquetado, cribaje, sedimentación, tamizado, clasificación y raspado y lavado). Resultan útiles para instalaciones que traten residuos de distintos tamaños que deban homogeneizarse antes del tratamiento.

3.1.12.1. Tratamiento de pequeños residuos

Permite identificar distintos tipos de residuos para su correcto tratamiento; por ejemplo, residuos peligrosos de origen doméstico, procedentes de universidades, laboratorios, empresas, etc.

Las sustancias que deben someterse a tratamiento se clasifican a mano y se reempaquetan, trituran (en caso necesario), acondicionan y transfieren a las plantas de eliminación internas o externas.

El sistema se divide en tres áreas separadas espacialmente:

- Clasificación de sustancias químicas: se lleva a cabo mediante una cabina de clasificación y un dispositivo de aspiración que separa los productos químicos de laboratorio de las distintas rutas de procesamiento de residuos (p. ej., reciclaje, eliminación, depósitos subterráneos).
- Tratamiento de envases para el vaciado de contenedores con contenido líquido: se combinan pequeños volúmenes con el fin de crear lotes de mayor tamaño (disolventes o ácidos) que se eliminan por medio de incineración a altas temperaturas, en subsiguientes procesos, o bien se recuperan en una planta interna de tratamiento fisicoquímico.
- Tratamiento de productos para la protección de la planta, sustancias reactivas o con olores intensos en una cabina especial.

3.1.12.2. Reducción del volumen de los residuos

Su principal objetivo es adaptar la granulometría de los residuos sólidos para posteriores tratamientos o para extraer residuos que sean difíciles de bombear o decantar.

Las técnicas empleadas en las instalaciones son la trituración, el tamizado, el fraccionamiento, el acondicionamiento y la fabricación.

Son técnicas útiles para las instalaciones de tratamiento de recipientes y envases de aerosoles o la preparación de los residuos para su empleo como combustible que resultan igualmente válidas para distintos tipos de residuos como bidones de plástico y metal, filtros de aceite, residuos sólidos municipales, residuos sólidos a granel, residuos de madera, aerosoles y vidrio).

3.1.12.3. Otras técnicas habituales

Se trata de técnicas generales utilizadas en el sector, básicamente de tratamientos mecánicos empleados como tratamientos previos, aunque algunos son posteriores, por ejemplo:

- Limpiado: elimina la contaminación que, de otro modo impediría la recuperación de los materiales de desecho. Se emplea para los condensadores y transformadores que contienen bifenilos policlorados (PCB).
- Reempaquetamiento: a causa de la naturaleza disgregada de algunos tipos de residuos, a veces resulta necesario compactarlos para facilitar su utilización en el proceso. Se emplea para los residuos sólidos municipales, en la producción de combustible, y para las balas de plástico, papel y metal.
- Cribaje.
- Sedimentación.
- Tamizado: permite separar las partículas más grandes. Se emplean tamices vibratorios, estáticos y rotatorios para preparar los residuos que se utilizarán como combustible.
- Clasificación y raspado.
- Lavado: unos de los objetivos del lavado puede ser reacondicionar los bidones para otros usos dentro de las instalaciones o bien para su venta a otras plantas para su reutilización. Los procedimientos de lavado de bidones a menudo no requieren someterlos a un verdadero tratamiento aparte del lavado y el asentamiento. Algunos reprocesadores lavan filtros de aceite y producen una fracción metálica semilimpia para posteriores reciclados.

3.2. TÉCNICAS PARA TIPOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos utilizan organismos vivos que descomponen los residuos orgánicos en agua, CO₂ y sustancias inorgánicas simples como aldehídos y ácidos. No todos los tratamientos biológicos son apropiados para los residuos peligrosos, ya que la presencia de sustancias tóxicas reduce la actividad biológica. A continuación se describen brevemente los distintos tipos de tratamiento biológico:

- Lodo activado: los residuos orgánicos se descomponen en agua exponiéndolos al crecimiento biológico. Se considera un tratamiento de aguas residuales.
- Lagunas aireadas: se trata de grandes lagunas con elevadas concentraciones de microorganismos. Se considera un tratamiento de aguas residuales.
- Compostaje: los residuos se acumulan en montones especialmente diseñados para estimular la descomposición biológica de los sólidos orgánicos; de ellos se obtiene una sustancia húmica útil para el acondicionamiento del suelo.

- Digestión aeróbica: reducción del contenido orgánico de los residuos. Se aplica a los residuos sólidos, aguas residuales discontinuas, biorremediación y a lodos y suelos contaminados con aceite.
- Digestión anaeróbica: la materia orgánica se descompone en el interior de recipientes cerrados y en ausencia de aire. Se aplica a los residuos sólidos-líquidos, aguas residuales muy contaminadas (por ejemplos, compuestos clorados), biorremediación y en la producción de biogás para uso como combustible.

Los lodos activados y la lagunas aireadas se consideran tratamientos propios de aguas residuales, mientras que el compostaje y la digestión aeróbica y anaeróbica son técnicas adecuadas para el tratamiento de residuos sólidos municipales (específicamente, biorresiduos). Sin embargo, la digestión anaeróbica se ha ensayado también para la eliminación de residuos peligrosos.

Se considera que las siguientes técnicas y prácticas muestran un buen rendimiento operativo ambiental en los tratamientos biológicos; normalmente forman parte del proceso global de tratamiento de residuos peligrosos:

- Elección del tratamiento biológico adecuado. Uno de los factores técnicos clave consiste en facilitar el contacto necesario entre los componentes orgánicos de los residuos y la población microbiana. Ello depende principalmente del estado de los residuos y de su concentración. Contribuye a evitar problemas operativos, así como a sacar el máximo partido de los residuos (por ejemplo, utilizándolos como combustible).
- Técnicas de almacenamiento y manipulación específicas para tratamientos biológicos. Véase la MTD n.º 65 de la tabla 3.8.
- Elección de la materia prima residual de los sistemas biológicos: la presencia en los procesos biológicos de sustancias que no evolucionan positivamente con el tratamiento, por ejemplo los metales tóxicos, debe limitarse. Aunque el proceso en sí es un aspecto importante del tratamiento, la calidad de la materia prima residual posiblemente tenga mayor peso final, por lo que resulta vital potenciarla.
- Técnicas generales de digestión anaeróbica. Véase la MTD n.º 68 de la tabla 3.8.
- Aumento del tiempo de retención en los procesos de digestión anaeróbica. Implica permitir que el digestato permanezca más tiempo en condiciones de degradación. Un mayor tiempo de retención hace posible una biodegradación más completa y, en consecuencia, digestatos de mayor calidad que aumentan la producción de biogás.
- Técnicas para la reducción de emisiones al utilizar biogás como combustible. Véase la MTD n.º 68 de la tabla 3.8. El biogás generado tiene que someterse a desulfuración a causa de su elevado contenido en azufre, en especial para evitar corrosiones en la unidad que utilice el biogás.
- Aumento de la eficiencia energética de los generadores de electricidad y de los sistemas de digestión anaeróbica: las eficiencias de conversión eléctrica variarán en función de la planta de combustión; la instalación de motores de biogás con eficiencias superiores al 30 % es esencial para lograr un buen nivel de eficiencia energética general.
- Técnicas de mejora de los tratamientos biológicos mecánicos: uso de filtros en las salidas de aire para minimizar las emisiones particuladas, reducción de las emisiones de compuestos de nitrógeno mediante la optimización de la relación C-N y el uso de lavadores automáticos, evitar las condiciones anaeróbicas en las instalaciones de tratamiento aeróbico, controlar el suministro de aire por medio de un circuito de aire estabilizado, ubicar las ventanas cuidadosamente de tal modo que permitan un correcto acceso al conformar y torneear, equilibrar eficientemente la cantidad de agua para minimizar la producción de lixiviados, etc.
- Digestión aeróbica de cienos: se trata de una técnica biológica habitual aplicada a los cienos.
- Control de la aireación de la degradación biológica: utilización de procedimientos de sobrepresión, utilización de procedimientos de succión (presurización), disponer de suelos con aireación dotados de ranuras y un sótano que garanticen una aireación uniforme de todas las operaciones de desplazamiento/rotación, adaptar la aireación al proceso de biodegradación

del material mediante la segmentación de la zona de degradación biológica en divisiones con aireación independiente controlable, garantizar que el flujo sea constante a través del material biodegradado del sistema de túneles del piso, mediante el uso de tuberías perforadas incrustadas y presiones relativamente elevadas, así como mediante el uso de intercambiadores de calor para reducir la temperatura del gas de escape y su humedad.

- Gestión de gases de escape mediante tratamientos biológico-mecánicos (TBM). Véase la MTD n.º 70 de la tabla 3.8.
- Técnicas de reducción de la contaminación para tratamientos biológicos. Véase la MTD n.º 69 de la tabla 3.8.

En principio, estos tratamientos biológicos son aplicables a la región mediterránea al no ser costosos ni difíciles de instalar, usar ni mantener; sin embargo, su adopción se ve limitada por la presencia de determinadas sustancias tóxicas como los metales pesados. La digestión anaeróbica es el tratamiento biológico más apropiado para los residuos peligrosos, pero sus costes de inversión son elevados. La tabla 3.8 muestra las MTD asociadas a los tratamientos biológicos.

Tabla 3.8: MTD para tratamientos biológicos

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>65.- Utilización de las siguientes técnicas en el almacenamiento y la manipulación de sistemas biológicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para residuos con escaso nivel de olor: uso de puertas automatizadas y de accionamiento rápido con un dispositivo de captura de aire de escape apropiado. • Para residuos con un elevado nivel de olor: uso de tanques con sistema de alimentación cerrado construidos con una compuerta para vehículos. • Aislar y equipar la zona del tanque con un dispositivo de recogida del aire de escape. 	<p>Es importante que en los sistemas de biotratamiento de residuos líquidos el flujo del líquido de soporte sea relativamente constante para que el funcionamiento sea correcto; de lo contrario podrían producirse emisiones inesperadas.</p> <p>Estas técnicas evitan las emisiones a la atmósfera.</p> <p>Los desechos residuales pueden contener grandes cantidades de partículas de pequeño calibre, por lo que cabe esperar que se generen en el tanque emisiones de polvo considerables a consecuencia de los procesos de volcado y carga mediante herramientas móviles, que deberían plegarse o colocarse tan cerca como sea posible de la fuente de contaminación.</p>	n. d.
<p>66.- Adaptar los tipos de residuos admisibles y los procesos de separación en función del tipo de proceso utilizado y la técnica de reducción aplicable (es decir, dependiendo del contenido de componentes no biodegradables).</p>	<p>Así se evita que entren en el sistema biológico compuestos tóxicos (tóxicos en tanto que reductores de la actividad biológica).</p> <p>Si se separan las partes activas no biológicas de la materia prima residual, los flujos de residuos podrán reciclarse y reaprovecharse fácilmente (p. ej., vidrio, metales).</p>	n. d.
<p>67.- Utilización de las siguientes técnicas al emplear la digestión anaeróbica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integración precisa de la gestión de los procesos y el agua. • Reciclado de la máxima cantidad de aguas residuales para el reactor. • Utilización del sistema en condiciones de digestión termófilas. • Medición de los niveles de COT, DQO, N, P y Cl en los flujos de entrada y salida. • Maximización de la producción de biogás (requiere tener en 	<p>Estas técnicas aumentan la eficacia de la digestión anaeróbica al posibilitar un mejor uso de los productos y minimizar la cantidad de materiales potencialmente tóxicos.</p> <p>Los sistemas anaeróbicos son efectivos a la hora de descomponer compuestos cíclicos (por ejemplo, fenoles) y generar metano, que puede utilizarse como combustible. Sin embargo, no todos los compuestos obtenidos a través de la descomposición anaeróbica de los anillos aromáticos (p. ej. sustancias xenobióticas) pueden mineralizarse en condiciones anaeróbicas.</p> <p>Pueden alcanzarse emisiones odoríferas de 250 - 500 ou/m³⁷ en los tratamientos anaeróbicos utilizando un biofiltro apropiado y un lavador si el contenido de NH₃ es superior a 30 mg/Nm³⁸.</p>	Los costes de inversión específicos suelen ser mucho más elevados normalmente que los de un tratamiento aeróbico.

⁷ ou/m³: unidades de olor/metro cúbico

⁸ mg/Nm³: miligramos/metro cúbico normal

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>cuenta el efecto sobre el digestato y la calidad del biogás).</p>	<p>Aumentar el tiempo de retención facilita una biodegradación extensiva y, en consecuencia, digestatos de mejor calidad y mayor producción de biogás.</p>	
<p>68.- Reducir las emisiones de gases de escape de polvo, NO_x, SO_x, CO, H₂S y COV al utilizar biogás como combustible mediante la adecuada combinación de las siguientes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Depuración del biogás con sales de hierro • Utilización de técnicas reductoras de NO_x (RCS) • Utilización de una unidad de oxidación térmica • Utilización de un sistema de filtración mediante carbón activado 	<p>Valores de las emisiones: datos en mg/Nm³ al 5 % de O₂</p> <p>AOX: < 150 biogás.</p> <p>CO: 100 - 650 gas de escape.</p> <p>Polvo: <10 - 50 gas de escape.</p> <p>NO_x: 100 - 500 gas de escape.</p> <p>H₂S: < 5 gas de escape.</p> <p>HCl: < 10 - 30 gas de escape.</p> <p>HF: < 2 - 5 gas de escape.</p> <p>Hydrocarburos: < 50 - 150 gas de escape.</p> <p>SO₂: < 50 - 500 gas de escape.</p>	<p>Las medidas secundarias para la reducción de las emisiones de gases de combustión al utilizar biogás como combustible no se consideran económicamente viables ni justificadas desde un punto de vista ambiental para pequeñas instalaciones de electricidad/calor.</p>
<p>69.- Mejorar el tratamiento mecánico-biológico (TMB) mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el uso de biorreactores completamente cerrados; • evitar las condiciones anaeróbicas durante el tratamiento aeróbico por medio del control de la digestión, el suministro de aire y la adaptación a la actividad biodegradativa; • uso eficiente del agua; • aislar térmicamente el techo de la sala de degradación biológica durante los procesos aeróbicos; • minimizar la producción de gases de escape a niveles de 2500 a 8000 Nm³/t; • garantizar el suministro uniforme; • reciclado de las aguas de proceso o residuos fangosos mediante tratamiento aeróbico para evitar cualquier emisión hídrica. Si se generan aguas residuales, éstas deberían tratarse hasta que alcancen los valores mencionados en la MTD n.º 56; • Reducir las emisiones de compuestos de nitrógeno optimizando la relación C:N. 	<p>Los procesos biológicos optimizados combinan una reducción de las emisiones hídricas y atmosféricas durante el tratamiento en la planta.</p> <p>Otro beneficio ambiental es que los residuos pretratados de forma biológica y mecánica se caracterizan por una marcada reducción del volumen, el contenido de agua y el potencial de formación de gas, además de propiciar una mejora significativa de las propiedades de asentamiento y la lixiviación en los vertederos.</p> <p>Otra ventaja consiste en lograr separar un flujo de residuos a gran temperatura que puede incinerarse con la energía recuperada. Los tratamientos mecánicos y físicos utilizados como tratamiento previo para optimizar las condiciones de los posteriores tratamientos biológicos se ajustan para mejorar el proceso de separación de materiales valiosos, materiales inhibidores o materiales no adecuados para el tratamiento biológico.</p> <p>Véanse además las MTD n.º 65 y 66.</p>	<p>n. d.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>70.- Reducción de las emisiones generadas en los tratamientos mecánico-biológicos a los siguientes niveles:</p> <p>Olores: < 500 - 600 ouE/m³ y NH₃: < 1 - 20 mg/Nm³.</p> <p>Mediante la adopción de las siguientes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buena gestión ambiental. • Oxidantes térmicos regenerativos. • Extracción del polvo. <p>En cuanto a los COV y la MP, véase la MTD n.º 41.</p>	<p>La reducción de las emisiones se puede lograr a través de la combinación de las técnicas siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Prevención general. b) Adsorción. c) Depuración química. d) Proceso de baja oxidación. e) Incineración. f) Combustión catalítica. g) Oxidación térmica regenerativa. h) Tratamiento mediante plasma frío. 	<ol style="list-style-type: none"> a) n. d. b) Bajo coste de explotación si las concentraciones de COV son escasas. c) n. d. d) n. d. e) La rentabilidad del funcionamiento viene determinada por la cantidad y el volumen del flujo que deberá tratarse y por las concentraciones de contaminante. f) El coste de inversión es relativamente elevado. g) n. d. h) n. d.
<p>71.- Reducción de la contaminación en las emisiones hídricas a los siguientes niveles (ppm):</p> <p>DQO: 20 - 120</p> <p>DBO: 2 - 20</p> <p>Metales pesados (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn): 0,1 - 1</p> <p>Metales de alta toxicidad:</p> <p>As: < 0,1; Hg: 0,01 - 0,05;</p> <p>Cd: < 0,1 - 0,2; Cr (IV): < 0,1 - 0,4</p> <p>Además de limitar las emisiones de nitrógeno total, amoníaco, nitratos y nitritos.</p>	<p>Ayuda a identificar mejor los contaminantes que se liberan normalmente.</p>	<p>n. d.</p>

3.2.2. Tratamientos fisicoquímicos

Estos tratamientos modifican las características fisicoquímicas de los residuos. Se basan en técnicas muy especializadas que dependen del tipo de residuo y su contenido y que pueden requerir inversiones elevadas. Por este motivo es necesario caracterizar los residuos y analizar

cuidadosamente las distintas opciones de tratamiento fisicoquímico, aspectos críticos para los países mediterráneos, que no conocen en profundidad los flujos de residuos peligrosos y suelen destinarlos directamente a instalaciones para su eliminación final.

Este apartado se ha estructurado a partir de las condiciones físicas de los residuos, por lo que se han considerado por separado los materiales sólidos y los líquidos.

3.2.2.1. Tratamientos fisicoquímicos para aguas residuales

Los tratamientos fisicoquímicos se planifican de modo que la máxima cantidad posible de materiales reciclables pueda separarse para reducir al mínimo empleo de materiales auxiliares.

Los residuos que se tratan en plantas fisicoquímicas son líquidos de tipo acuoso. Estas plantas normalmente tratan residuos líquidos o lodos con un contenido de agua relativamente alto (> 80 % en peso). Independientemente de su origen y de la relación de éste con las características materiales, los residuos tratados habitualmente en estas plantas son:

- Emulsiones/lubricantes refrigerantes.
- Ácidos.
- Soluciones alcalinas.
- Concentrados/soluciones salinas con contenido de metales.
- Agua de procesos de limpiado.
- Aguas residuales que contengan un separador de aceite/petróleo.
- Mezclas de disolvente.
- Lodos.
- Residuos líquidos acuosos con elevadas concentraciones de materiales biodegradables.
- Residuos marinos acuosos.

Las técnicas ambientales analizadas para el establecimiento de las MTD (que se muestran en la tabla 3.9) correspondientes a tratamientos FQ (fisisicoquímicos) de las aguas residuales son las siguientes:

- Planificación del funcionamiento de la planta FQ: todos los sistemas de medición y control deben ser fácilmente accesibles y de fácil mantenimiento, los equipos de control y muestreo deben estar operativos, la inspección en el momento de la recepción debe adaptarse a la información obtenida a partir del análisis de la prueba de eliminación de residuos y a las instrucciones de proceso previstas para cada tratamiento concreto, debería evitarse en lo posible la producción de aguas residuales mediante la adopción de medidas constructivas como, por ejemplo, techar la zona de recepción, etc.
- Técnicas para reactores FQ. Véase la MTD n.º 72.
- Neutralización: impedir que se mezclen residuos ácidos/básicos con otros flujos que tengan que someterse a neutralización cuando la mezcla contenga metales y complejantes a la vez. Entre los iones complejantes que deben controlarse se encuentran, por ejemplo, los ácidos EDTA y NTA y los cianuros. Es necesario que el equipo de neutralización sea todo lo robusto y fácil de usar posible para que pueda soportar los rigores propios de las plantas FQ que tratan residuos ácidos/básicos para su neutralización.
- Precipitación de metales. Véase la MTD n.º 75.
- Descomposición de emulsiones. Véase la MTD n.º 76.
- Oxidación/reducción. Véase la MTD n.º 77.
- Técnicas para el tratamiento de residuos con cianuros. Véase la MTD n.º 78.
- Técnicas para el tratamiento de residuos que contengan compuestos de cromo (VI). Véase la MTD n.º 79.

- Técnicas para el tratamiento de residuos contaminados con nitritos. Véase la MTD n.º 80.
- Tratamiento por oxidación de soluciones fenólicas: los residuos acuosos que contienen fenol (3-5 % en peso) pueden tratarse mediante oxidación catalítica utilizando para ello un agente oxidante y un catalizador metálico o bien un reactivo altamente oxidante (p. ej. KMnO_4).
- Técnicas para residuos con contenido de amoníaco. Véase la MTD n.º 81.
- Filtración/deshidratación: ampliar los muestreos de amoníaco en las chimeneas de escape o prensas filtradoras para que incluyan un análisis de COV, enlazar el aire de cabeza de algunas prensas al sistema de reducción de emisiones principal de la planta, mejorar el comportamiento del drenaje de los lodos añadiendo agentes de floculación, por ejemplo cal o bien agentes de floculación sintéticos. Véase la MTD n.º 82.
- Sistema de flotación por aire disuelto (FAD): genera una solución supersaturada de aguas residuales y aire comprimido aumentando la presión del flujo de aguas residuales hasta igualarla con la del aire comprimido; a continuación se mezclan ambos en un depósito de retención. Véase la MTD n.º 83.
- Procesos de intercambio iónico: utilización del intercambio iónico únicamente para concentraciones de sal inferiores a 1500 mg/l, uso de tratamientos previos para reducir la concentración salina (p. ej. precipitación), extracción de los materiales sólidos de las soluciones mediante filtros de arena o adsorción por carbón activado antes de recurrir a los procesos de intercambio de iones, empleo de mediciones de la conductividad para el control y la utilización de la planta intercambiadora de iones (combinación de catión-anión).
- Filtros de membrana: examinar en el laboratorio qué membrana es la más adecuada para el residuo que de tratarse, someter el permeado y concentrado resultantes de la ultrafiltración a los subsiguientes tratamientos y controles, pH, conductividad eléctrica, presión, temperatura, etc.
- Sedimentación: el asentamiento se lleva a cabo en un decantador que tiene que diseñarse especialmente e incluir una entrada, una salida, una zona de sedimentación y un lecho de lodos. Se recomienda añadir floculantes a los lodos y aguas residuales que se tratarán para acelerar el proceso de sedimentación y facilitar la posterior separación de los sólidos.
- Tamizado: evitar sobrecargar el equipo de tamizado, limpiar correctamente la aberturas del filtro según lo previsto y garantizar que la descarga del flujo por exceso y por defecto filtro no resulta dificultada en ningún momento. Véase la MTD n.º 84.
- Extracción de disolvente: desarrollo adecuado y regulado de los procesos, reutilización del solvente extraído por medio de un circuito cerrado, utilización de agentes antiespumantes cuando se produzcan anomalías en la extracción a consecuencia de sustancias tensioactivas resultantes del proceso de mezcla, evitar el uso de disolventes con características químicas parecidas a las del componente que se desea extraer con el fin de evitar que la separación sea ineficiente (por ejemplo, en mezclas azeotrópicas), mejorar la separación durante la extracción mediante el aumento de la temperatura y separar las sustancias que podrían presentar comportamientos negativos durante los procedimientos de pretratamiento.
- Técnicas para el tratamiento de aguas residuales que contengan metales preciosos. Los residuos de líquidos fotográficos contienen varias sustancias tóxicas y compuestos de difícil degradación. A través del tratamiento fisicoquímico y biológico, incluida la evaporación, se minimiza la difusión de estos compuestos en el medio ambiente.
- Técnicas para el tratamiento de residuos marinos acuosos. Cabe distinguir entre el tratamiento de aguas residuales que contengan aceite y el de aguas residuales que contengan sustancias químicas. Algunas de las técnicas son:
 - a) Adopción de procesos de pretratamiento específicos si las aguas residuales contienen metales.
 - b) Adopción de pretratamientos FQ y biológicos si las aguas residuales contienen aceite.
 - c) Tratamiento de gases residuales para la reducción de COV y emisiones odoríferas.
 - d) Definición de exigencia de admisión y procesamiento para cada ruta de tratamiento, etc.

- Técnicas de reducción de las emisiones utilizadas en plantas de tratamiento FQ: filtros de mangas, lavadores (ácidos y NH_3), lavadores oxidativos, uso del gas de combustión durante la incineración de residuos peligrosos, biofiltros y biofiltros para la fracción orgánica.

Éstos son algunos de los procedimientos que se realizan en las plantas FQ con los residuos peligrosos:

- Tratamiento de emulsiones.
- Tratamiento de emulsiones y residuos cuyo contenido deba destoxificarse.
- Tratamiento de líquidos y residuos acuosos que contengan parte de disolventes orgánicos.
- Tratamiento de emulsiones y mezclas de agua y aceite.
- Tratamiento de líquidos y residuos acuosos que contengan disolventes orgánicos y tensioactivos.
- Destoxificación (oxidación/reducción) de residuos con contenido de nitritos, Cr(VI), cianuro (como pretratamiento).

Normalmente, los residuos procesados provienen de varios procesos de producción industrial y comercial y de procedimientos de mantenimiento, reparación o limpieza. Algunos de los sectores industriales que utilizan tratamientos fisicoquímicos son los de la impresión y la fotografía. Las MTD específicamente dirigidas a los residuos peligrosos se han destacado con **negrita** en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: MTD para el tratamiento fisicoquímico de aguas residuales

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>72.- Utilización de las siguientes técnicas en los reactores fisicoquímicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir claramente los objetivos y la reacción química esperada en cada proceso de tratamiento. • Evaluar cada conjunto nuevo de reacciones y mezclas de residuos propuestos y reactivos mediante un ensayo de laboratorio, como paso previo al tratamiento. • Diseño y utilización específicos de la vasija del reactor. • Cierre de todos los depósitos de tratamiento/reacción, garantizando que todos ellos tienen salida a la atmósfera vía lavador. • Control de la reacción para asegurar que se desarrolla según lo previsto y avanza hacia los resultados esperados. • Evitar la mezcla con residuos u otros flujos que contengan metales y agentes complejantes simultáneamente. 	<p>El control del proceso de reacción/tratamiento es vital para la protección del ambiente y evitar posibles accidentes. Puede lograrse un rendimiento de extracción de metales del 96 %.</p>	<p>n. d.</p>
<p>73.- Deben identificarse algunos parámetros adicionales para el tratamiento fisicoquímico de agua residuales (además de los parámetros general señalados para las aguas residuales en la MTD n.º 56).</p>	<p>n. d.</p>	<p>n. d.</p>
<p>74.- Adopción de las siguientes técnicas en el proceso de neutralización:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Garantizar el empleo de los métodos de medida habituales. • Almacenar las aguas residuales neutralizadas por separado. • Realizar una inspección final de las aguas residuales neutralizadas. 	<p>Mejora el proceso de neutralización y evita posteriores problemas (aguas abajo), por ejemplo al evitar que se mezclen residuos u otros flujos de tal modo que sea imposible aplicar posteriores tratamientos a las aguas residuales.</p>	<p>n. d.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>75.- Adopción de las siguientes técnicas para favorecer la precipitación de los metales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustar el pH al punto de mínima solubilidad (los metales se precipitarán). • Evitar la entrada de agentes complejantes, cromatos o cianuros. • Evitar los materiales orgánicos (interfieren con la precipitación del proceso). • Permitir que los residuos tratados resultantes se clarifiquen por decantación. • Iniciar la precipitación del sulfuro en presencia de agentes complejantes. 	<p>Algunas sustancias como el cromo, el zinc, el níquel o el plomo suelen estar presentes, disueltos en la solución o bien adsorbidos en la materia particulada o coloidal; se trata de una tecnología robusta y relativamente sencilla que presenta unos rendimientos de hasta el 95 %.</p>	<p>n. d.</p>
<p>76.- Adopción de las siguientes técnicas para descomponer las emulsiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la presencia de cianuros en las emulsiones que se someterán a tratamiento. Si los hay, las emulsiones deberán someterse a un pretratamiento especial. • Establecimiento de pruebas de laboratorio simuladas. 	<p>La separación del ácido de las emulsiones es muy importante para la eliminación de los residuos y la protección del agua, ya que los residuos pueden utilizarse para el tratamiento de las emulsiones.</p> <p>Estas técnicas permiten evitar problemas ambientales y operativos.</p>	<p>n. d.</p>
<p>77.- Aplicación de las siguientes técnicas a la oxidación/reducción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la contaminación de las emisiones atmosféricas generadas. • Puesta en marcha de medidas de seguridad y detectores de gas. 	<p>Estas técnicas reducen la emisiones que podrían producirse a partir de reacciones redox.</p>	<p>n. d.</p>
<p>78.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan cianuros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de los cianuros por oxidación. • Adición de sosa cáustica por encima de los niveles normales para evitar un descenso del pH. 	<p>El cianato resultante no puede reducirse fácilmente de nuevo a cianuro y las posibles descargas de cianato en cursos de agua no provocarán la generación de cianuro libre. Los riesgos para la salud también son menores.</p> <p>El tratamiento previo de aguas residuales que contengan cianuros</p>	<p>n. d.</p>

⁹ mg/l: miligramos/litro

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la mezcla de residuos de cianuro con compuestos ácidos. • Seguimiento del desarrollo de la reacción a través de electropotenciales. 	<p>es indispensable para evitar la formación de complejos metal-cianuro. Estas técnicas permiten lograr concentraciones de cianuro inferiores a 0,1 mg/l⁹.</p>	
<p>79.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan compuestos de cromo (VI):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar mezclar residuos de Cr(VI) con residuos de otro tipo. • Reducir el Cr(VI) a Cr(III). • Precipitar el metal trivalente. 	<p>El cromo (VI) es el estado de máxima oxidación de este metal. Un ejemplo sería el ácido de cromo u óxido de cromo, que es ácido, tóxico, soluble en agua y se utiliza como agente oxidativo. Estos tratamientos permiten lograr concentraciones de cromo (VI) inferiores a 0,1 mg/l.</p>	n. d.
<p>80.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan nitritos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar mezclar residuos de nitrito con otros residuos. • Comprobar y evitar que se formen humos nitrosos durante el tratamiento de oxidación/acidificación de los nitritos. 	<p>Es posible alcanzar concentraciones inferiores a 2,0 mg/l de nitrito optimizando adecuadamente el proceso de tratamiento del nitrito.</p>	n. d.
<p>81.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan amoníaco:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilización de un sistema de extracción de volátiles (<i>stripper</i>) de doble columna con lavador de acidez para residuos con un contenido de amoníaco superior al 20 %. • Recuperar el amoníaco de los lavadores y devolverlo al proceso antes de la fase de asentamiento. • Extraer el amoníaco retirado en la fase de gas mediante lavado con ácido sulfúrico para obtener sulfato de amonio. • Ampliar los posibles muestreos de amoníaco en las chimeneas de escape o la zona de la prensa filtradora de modo que incluyan los COV del material filtrado y deshidratado. 	<p>Estas técnica evitan que se produzcan emisiones masivas de gas de amoníaco durante el proceso inicial de neutralización, cuando el pH cambia rápidamente al agitarse los depósitos y aumentar la temperatura.</p>	<p>Las soluciones que contienen amoníaco también se pueden utilizar para la reducción de NO_x. Este uso podría ser más económico que la recogida/tratamiento como residuo peligroso.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
82.- Enlazar el aire de cabeza de los procesos de filtración y deshidratación con el sistema de reducción de emisiones principal de la planta.	Mejora el proceso de filtración y reduce las emisiones fugitivas. La torta de filtración, que contiene elevadas concentraciones de metales, por ejemplo níquel y cobre, puede utilizarse como materia prima en la industria metalúrgica.	n. d.
83.- Adición de agentes floculantes a los lodos y aguas residuales que van a tratarse para acelerar el proceso de sedimentación y facilitar la posterior separación de los sólidos. Para evitar el uso de agentes floculantes es preferible la evaporación cuando ésta sea económicamente viable.	Aumenta la eficacia de la sedimentación. La sedimentación de sólidos normalmente simplifica posteriores procedimientos de tratamiento de residuos. Con todo, los procesos de sedimentación imprevistos son una desventaja porque pueden afectar a otros procesos y, a menudo, la acumulación de sedimento sólo puede extraerse a unos costes considerables.	La utilización de esta técnica permite ahorrar en costes de descarga y transporte, ya que sólo es necesario gestionar el sedimento en vez de la totalidad de suspensión acuosa.
84.- Utilizar un sistema de limpiado rápido y vapor o de chorro de agua a alta presión para limpiar las aberturas del filtro utilizado en los procesos de tamizado.	El tamizado de los residuos es una etapa inicial del proceso de tratamiento. La separación de las partículas que podrían afectar negativamente al equipo, los procesos o los productos es beneficiosa de cara a sucesivas medidas de tratamiento de residuos.	n. d.

A continuación se explican las aplicaciones específicas de las anteriores técnicas:

- La neutralización puede aplicarse a todos los residuos líquidos capaces de mezclarse.
- Los procesos de tratamiento de residuos acuosos son válidos para una serie de materiales de desecho acuosos compatibles. Consisten en precipitar los metales solubles y los aniones ácidos para extraerlos de la solución mientras aumenta el tamaño de las partículas de los sólidos suspendidos, lo que contribuye a facilitar posteriores separaciones de sólidos y líquidos por clarificación y filtración. Los residuos tratados habitualmente son residuos de interceptadores, de cabinas de pulverización de pintura o efluentes de procesos, entre otros.
- Los métodos de tratamiento químicos y térmicos son los más extendidos para destruir flujos de residuos que contengan cianuro.
- Residuos con contenido de amoníaco: estos sistemas se aplican a las aguas residuales que tienen un elevado contenido de amoníaco. Existen otros residuos que contienen amoníaco/amonio, por ejemplo los lixiviados de vertederos, para los que un sistema de extracción de volátiles no resulta adecuado a causa de la transferencia de otras sustancias a la fase gaseosa.
- Adición de agentes floculantes: los sólidos pueden ser partículas discretas suspendidas que se asientan por sí solas o bien pueden adquirir una variedad de tamaños y características superficiales que sí requerirán la formación de suspensiones floculantes para coagular y asentar la masa. En determinados casos no es necesario utilizar estos agentes (cuando los sólidos asientan de forma natural o cuando los floculantes no son efectivos).

3.2.2.2. Tratamiento fisicoquímico de residuos sólidos y suelos contaminados

El principal objetivo del tratamiento fisicoquímico de residuos sólidos es minimizar las descargas a largo plazo lixiviando los metales pesados primarios y los compuestos menos biodegradables.

En principio, todas las opciones de tratamiento son válidas para los residuos sólidos y los lodos residuales, si bien las características del material tratado y la eficacia de la tecnología empleada pueden variar considerablemente dependiendo de las propiedades concretas de los residuos iniciales (de entrada) y el tipo de sistema de limpiado empleado. Las opciones de tratamiento se han agrupado de acuerdo con los tipos siguientes:

- Extracción y separación.
- Tratamiento térmico
- Separación mecánica.
- Acondicionamiento.
- Inmovilización.
- Deshidratación.
- Secado.
- Desorción térmica.
- Extracción de vapor de suelos excavados.
- Extracción de residuos sólidos por disolvente.
- Excavación y extracción de suelo excavado.
- Lavado de suelos.

Las técnicas ambientales analizadas al determinar las MTD para el tratamiento fisicoquímico de los residuos sólidos son las siguientes:

- Pretratamiento previo a la inmovilización: consiste, básicamente, en el lavado/lixiviado de sales por medio de agua y el tratamiento fisicoquímico previo de los metales (en especial la insolubilización de metales anfotéricos. Véase la MTD n.º 85 de la tabla 3.10).
- Procesos de laboratorio: disponer de laboratorio en las instalaciones, adoptar un sistema de control de la calidad, hacer frente a cualquier inhibidor detectado en la formulación del aglomerante mediante aglomerantes/aditivos secundarios, indicación del tiempo de conservación necesario de las muestras para posibles análisis, etc.
- Inmovilización: establecer determinados límites de aceptación para definir los residuos que pueden tratarse adecuadamente a través del proceso, realizar estos procesos en recipientes de reacción controlada, adopción de procesos de admisión previa para valorar las características de los residuos. Véase la MTD n.º 87 de la tabla 3.10.
- Solidificación del cemento: normalmente, los residuos se mezclan con cemento Portland y aditivos para controlar las propiedades del cemento, además de agua en cantidad suficiente para garantizar que se producirán las reacciones de hidratación que endurecen el cemento. Las técnicas de solidificación a base de cemento implican la utilización de equipos bastante habituales.
- Uso de otros reactivos en el proceso de inmovilización: encapsulación mediante bitumen, carbonización con CO₂ e inmovilización por medio de minerales de arcilla.
- Estabilización por fosfatos: estabilización química con fosfato como agente estabilizador. El proceso de tratamiento es relativamente sencillo; consiste en un dispositivo de mezclado (por ejemplo un mezclador de paletas) en el que se introducen los residuos de entrada de forma controlada.
- Tratamientos técnicos para los residuos sólidos: destacan la vitrificación y la fusión de residuos sólidos. Se aplica a los residuos sólidos procedentes de incineradores de residuos.

- Recuperación de sales por disolución/evaporación: cuando se generan residuos sólidos resulta útil considerar el potencial de recuperación, por ejemplo de cara a recuperar las sales. Estos productos podrían obtenerse por evaporación o recristalización de las sales obtenidas a partir del agua residual empleada para limpiar los gases de combustión, ya sea a nivel local o en una planta de evaporación centralizada. Cuando el líquido del lavador se trata de forma independiente sometiéndolo a evaporación pueden obtenerse productos recuperables como sales o ácido clorhídrico. El potencial de reutilización de estos productos depende en gran medida de la calidad del producto.
- Extracción por ácido: este proceso permite la extracción por ácido de metales pesados solubles y sales a través de las purgas (ácidas) del lavador. El mercurio se extrae antes de utilizar el líquido de limpieza, ya sea por filtración (si se introduce carbón activado en el lavador) o mediante el intercambio iónico específico.
- Excavación y extracción de suelos contaminados: identificar e implantar medidas para reducir las emisiones fugitivas a través de la correcta gestión de las instalaciones, cierre de la zona tratada mediante una cúpula, con utilización de tratamientos atmosféricos y control de la velocidad de excavación, el área de suelo contaminado expuesta y el tiempo que los montones de tierra permanecen descubiertos.
- Extracción de vapores: los vapores extraídos de los residuos sólidos se tratan para reducir las emisiones. La combustión directa es posible, en teoría, si el contenido de hidrocarburos del gas de escape es lo suficientemente elevado, aunque la concentración suele bajar significativamente durante la extracción. A menores niveles de hidrocarburos pueden ser efectivas la oxidación catalítica y la adsorción de carbón.
- Lavado de suelos: reciclado del agua de purga hasta donde sea posible, uso de filtros de carbón para el tratamiento de emisiones atmosféricas captadas de la planta de residuos o de la unidad de limpieza de suelos y garantizar que los lodos y sólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales se sometan a los procesos de tratamiento y eliminación adecuados.
- Extracción por disolvente: es mucho más efectiva en el tratamiento de compuestos orgánicos que inorgánicos y metales. La extracción de disolventes difiere del lavado del suelo en que emplea disolventes orgánicos (p. ej., propano, butano, dióxido de carbono, aminas alifáticas) en vez de soluciones acuosas para la extracción de los contaminantes del suelo. Se trata de un proceso de separación que no destruye los contaminantes.
- Evaporación: suele ser un componente importante en las plantas de tratamiento FQ. La planta de tratamiento por evaporación concentra los **residuos peligrosos** y el concentrado normalmente se quema. Los desechos (condensado) se almacenan temporalmente y, tras ser controlados y analizados, se transportan a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El aire de escape se limpia mediante filtros de carbón. Antes de la evaporación se llevan a cabo determinados pretratamientos en las instalaciones de tratamiento FQ, que consisten en la floculación, precipitación, ultrafiltración y separación orgánica. El aire de escape se trata con procesos de lavado alcalino y filtración por carbón.
- Purificación y reciclado de residuos de tratamiento de gases de combustión (TGC): se trata básicamente de cloruro sódico (resultante de la neutralización del HCl), sulfato sódico (resultante de la neutralización del SO₂), carbonato sódico (resultante de la neutralización del exceso de bicarbonato sódico), cenizas volantes y adsorbente (carbón activado o coque de lignito). El proceso incluye las siguientes fases:
 - a) Mezclado de restos del TGC con aglomerantes hidráulicos,
 - b) Disolución en agua e incorporación de aditivos,
 - c) Filtración de la suspensión y purificación de la salmuera de modo que pueda ser reutilizada en la fabricación de carbonato sódico.

A continuación se indica la aplicabilidad concreta de algunas de las anteriores técnicas así como su relación específica con los residuos peligrosos (en **negrita**):

- Insolubilización de metales anfotéricos: requieren someterse a tratamiento previo los residuos que contengan cromatos, metales anfotéricos (Pb y Zn) y sales solubles. Éste puede llevarse a

cabo en incineradores de residuos municipales a través de sistemas húmedos de tratamiento de gases de combustión. Sólo pueden utilizarse en incineradores que dispongan de un sistema de TGC húmedo y una autorización que permita la descarga de las aguas residuales tratadas. El tratamiento se aplica a los materiales monolíticos y granulares (por ejemplo, en el tratamiento de la ceniza acumulada en el fondo).

- Limitación de la admisión de residuos: su máxima eficacia se da, probablemente, en el tratamiento de residuos inorgánicos cuya solubilidad sea baja. Los residuos que contengan cromatos o metales anfotéricos y los residuos que tengan alguna sal disuelta requieren tratamiento previo. Algunos residuos no son adecuados, aunque podrían aceptarse si su concentración es muy baja:
 - a) Residuos inflamables,
 - b) Agentes oxidantes,
 - c) Residuos odoríferos,
 - d) Residuos que contengan sustancias volátiles o residuos orgánicos muy solubles o que tengan un elevado contenido de DQO o molibdeno,
 - e) Cianuros sólidos y agentes quelantes.
- Solidificación, vitrificación y fusión y empleo de otros reactivos: se suele poner en práctica normalmente en plantas situadas cerca del destino final del último material obtenido; por ello no es necesario que todas las incineradoras tengan que instalar equipos de solidificación. Esta técnica puede utilizarse con todos los tipos de residuos de TGC. La solidificación con cemento también se ha empleado con **otros muchos tipos de residuos peligrosos, también para la eliminación de residuos radiactivos de bajo nivel**. Los residuos de entrada deberían cumplir los siguientes requisitos:
 - a) contenido de agua: < 5 %,
 - b) contenido inquemado < 3 %,
 - c) contenido metálico < 20 % en peso,
 - d) tamaño de las cenizas < 100 mm.

Este tratamiento se aplica a las cenizas residuales, así como a las combinaciones de éstas con restos del TGC. A causa del contenido normalmente elevado de sales y **metales pesados que tienen los residuos del TGC, puede que el tratamiento independiente de residuos del TGC requiera un tratamiento extensivo de los gases residuales, lo que reduciría los beneficios globales de tratar por separado estos materiales**. La encapsulación de bitumen se ha utilizado únicamente con las cenizas volantes, no con residuos obtenidos a partir de sistemas de TGC semisecos y secos. Puede habilitarse como una unidad integrada del incinerador o bien concebirse como una planta centralizada de tratamiento de residuos procedentes de más de un incinerador.

- Control de la velocidad de excavación: el cierre de la zona tratada mediante una cúpula no es una medida utilizada habitualmente.
- Empleo de análisis de laboratorio en matraces volumétricos: válido para suelos contaminados con compuestos volátiles a temperatura ambiente. Los compuestos orgánicos con un elevado peso molecular podrían ensuciar o taponar los filtros de mangas o sistemas condensadores. Los equipos de secado giratorio normalmente se emplean para tratar suelos cuyo contenido orgánico sea inferior al 2 %. Las unidades de desorción térmica son capaces de tratar suelos que contengan hasta un 50 % de materia orgánica.

La tabla 30 muestra las MTD seleccionadas para el tratamiento fisicoquímico de residuos sólidos. Las técnicas especialmente diseñadas para residuos peligrosos se indican nuevamente en **negrita**.

Tabla 3.10: MTD para el tratamiento fisicoquímico de residuos sólidos

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>85.- Fomentar la insolubilización de metales anfotéricos y reducir la lixiviación de sales solubles tóxicas mediante una combinación de:</p> <p>a) lavado mediante agua;</p> <p>b) evaporación y recristalización;</p> <p>c) extracción por ácido;</p> <p>cuando se recurre a la inmovilización para tratar los residuos sólidos que contengan compuestos peligrosos destinados a vertederos.</p>	<p>a) Genera una torta de filtración de toxicidad y solubilidad reducida, además de agua salada. Contribuye a reducir la lixiviabilidad de los residuos de salida y la contaminación por lixiviación de los compuestos solubles.</p> <p>b) Estas técnicas evitan la descarga de aguas residuales salinas al sistema de alcantarillado mediante la evaporación del líquido de lavado del sistema de tratamiento húmedo de gases de combustión.</p> <p>c) Puede extraer una proporción significativa del total de metales pesado de los residuos de entrada (Cd y Zn: > 85 %, Pb y Cu: > 33 %, Hg: > 95 %); la lixiviabilidad de los materiales se ve reducida en un factor de 10^2-10^3. Permite reciclar el zinc, el cadmio y el mercurio.</p>	<p>a) El coste de inversión es más elevado que el del proceso de solidificación por separado.</p> <p>b) El coste de producción es varias veces superior al de las mismas sales a partir de recursos naturales. Se utiliza por motivos ambientales (no económicos).</p> <p>c) El coste correspondiente al proceso de tratamiento de residuos del TGC es de aproximadamente 150-250 EUR/t (incluidas las cargas para el reciclado de la torta de filtración de zinc).</p>
<p>86.- Comprobación de la lixiviabilidad de los compuestos inorgánicos mediante los procedimientos estandarizados del CEN y la utilización de niveles de ensayo adecuados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización básica. • Ensayo de aceptación. • Verificación <i>in situ</i>. 	<p>El laboratorio de las instalaciones es el elemento esencial para comprobar que todos los controles necesarios del proceso están activos y que se generan residuos de salida acordes.</p>	<p>n. d.</p>
<p>87.- Limitar la admisión de residuos para su tratamiento mediante solidificación/inmovilización a materiales que no contengan elevados niveles de COV, componentes odoríferos, cianuros sólidos, agentes oxidantes, agentes quelatantes, residuos con COT elevado y cilindros de gas a presión.</p>	<p>Así se potencia el rendimiento ambiental de las técnicas de inmovilización (p. ej. reducción de la permeabilidad, reducción de superficie específica o estabilización química).</p> <p>La estabilización es un proceso en frío y, por tanto, no requiere energía. Los residuos de salida de esta técnica normalmente presentan unas excelentes propiedades fisicoquímicas/lixiviantes. Al ser en frío, los humos del proceso o la contaminación atmosférica son menores. Puede lograrse una permeabilidad del agua de $3,7 \cdot 10^{-11}$ m/s en el producto final si se utiliza cemento como inmovilizador.</p>	<p>Los procesos en frío suelen ser técnicas económicamente atractivas. Normalmente requieren equipos simples con un niveles de inversión (hormigoneras, silos, bombas, etc.) y costes de explotación bajos.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
88.- Adopción de técnicas de control y cerramiento para la carga y descarga y los sistemas transportadores.	Véase la MTD n.º 87.	Véase la MTD n.º 87.
89.- Habilitar un sistema (o sistemas) de reducción de las emisiones para los flujos de aire, así como para los picos asociados a las operaciones de carga y descarga.	Véase la MTD n.º 87.	Véase la MTD n.º 87.
<p>90.- Empleo de al menos los siguientes procedimientos de estabilización:</p> <p>a) Solidificación.</p> <p>b) Vitrificación y fusión.</p> <p>c) Otros reactivos antes de transportar cualquier residuo sólido al vertedero.</p>	<p>a) La solidificación mediante cemento hace posible limitar el contacto entre el agua y los residuos de entrada y hace posible, hasta cierto punto, la formación de hidróxidos metálicos o carbonatos menos solubles. También permite tratar los metales anfotéricos. El producto solidificado es relativamente fácil de manipular, con un riesgo de formación de polvo relativamente bajo. La liberación de metales pesados a partir de los productos es relativamente escasa a corto plazo.</p> <p>b) Una ventaja característica de estos procesos es la destrucción de contaminantes orgánicos, por ejemplo las dioxinas. Las instalaciones de tratamiento térmico consiguen reducir el volumen a entre el 30 y el 50 % del volumen de entrada. La fusión incrementa la densidad del producto a normalmente 2,4-2,9 t/m³. La vitrificación proporciona los productos más estables y densos.</p> <p>c) Las partículas de las cenizas volantes se pueden encapsular con bitumen, lo que limita el contacto potencial con el agua; de este modo se mejoran las propiedades lixiviantes de las cenizas. Probablemente permita que se liberen menos metales pesados que la solidificación del cemento.</p> <p>d) El proceso retiene sales en los residuos de salida y no genera aguas residuales.</p>	<p>a) En la mayoría de casos, los residuos de entrada pueden conducirse a las instalaciones existentes. Los costes de tratamiento estimados de esta técnica son de unos 25 EUR/t de residuos de entrada y 100-500 EUR/t de residuos de salida.</p> <p>b) Los costes de tratamiento se han cifrado en alrededor de 100-500 EUR/t de entrada. Los costes de inversión podrían situarse en unos 20 millones de euros para una planta con capacidad para tratar 1-1,5 t/h.</p> <p>c) n. d.</p> <p>d) El coste del tratamiento es de unos 15 EUR por tonelada de residuos del TGC. Además de este precio se paga un canon por el uso del proceso patentado que alcanza los 5-10 EUR por tonelada. Los costes de inversión rondan los 150 000-500 000 EUR por planta, dependiendo del equipo existente.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
91.- Control de la velocidad de excavación, del área de suelo contaminada expuesta y de la duración de los montones apilados que se dejan descubiertos durante la excavación y extracción de suelo contaminado.	Reduce las emisiones fugitivas generadas por la excavación y extracción del suelo contaminado. También hace posible el control de las emisiones de COV si se mantienen las condiciones operativas dentro de los parámetros predeterminados.	n. d.
92.- Empleo de análisis de laboratorio en matraz volumétrico para determinar la adecuación del proceso que se va a adoptar y las mejores condiciones operativas de éste.	La desorción térmica del suelo permite tratar una gran variedad de contaminantes orgánicos, incluso con sistemas portátiles. Los desorbedores térmicos funcionan a temperaturas inferiores, por lo que posibilitan un ahorro significativo de combustible en comparación con la incineración. También generan menores volúmenes de gases residuales que habrá que someter a tratamiento.	Normalmente más barata que la incineración.
93.- Habilitar equipos de recogida y control como, por ejemplo, posquemadores, oxidantes térmicos, filtros de tejido, carbón activado o condensadores para el tratamiento de gases generados por tratamientos térmicos.	Véase la MTD n.º 92.	Véase la MTD n.º 92.
94.- Informar sobre la eficacia de los procesos aplicados a los distintos componentes reducidos y también sobre aquellos que no se han visto afectados por el proceso.	Véase la MTD n.º 87.	Véase la MTD n.º 87.

3.2.3. Recuperación de materiales a partir de residuos

Los procesos diseñados para recuperar materiales o parte de los materiales que contienen los residuos normalmente dependen del tipo de residuo en cuestión y de los materiales que se desea o se necesita obtener. Los materiales obtenidos a partir de estos tratamientos pueden reutilizarse en el mismo proceso (por ejemplo, aceites lubricantes) o bien recuperarse para otros fines que no guarden relación con la energía (por ejemplo, recuperación de metales a partir de catalizadores). Se alude a estos tratamientos con el nombre de «regeneración», a excepción de la regeneración de aceites residuales que se denomina «rerefino».

Estas clases de técnicas son muy específicas y dependen de la naturaleza de los residuos, el tipo de instalaciones y la posibilidad de cubrir costes. Así, se requiere una evaluación previa a su implantación en los países de la región mediterránea. Sin embargo, si se lleva a cabo una recogida adecuada, tanto el rerefino de aceites residuales como la regeneración de disolventes usados parecen ser las técnicas más adecuadas para los países mediterráneos.

3.2.3.1. Recuperación de materiales a partir de residuos: rerefino de aceites residuales

Existen dos alternativas principales para el tratamiento de aceites residuales: el tratamiento para la producción de material destinado básicamente a combustible y el tratamiento para otros usos (por ejemplo, absorbente, aceite para desprender moldes, aceite de flotación). Este último incluye tratamientos como el lavado de aceites residuales, la pirolesintegración y la gasificación; la otra alternativa se conoce como rerefino y consiste en tratar los aceites residuales para reconvertirlos en materiales que puedan servir de aceite base para la producción de lubricantes.

La reutilización de aceites residuales requiere un proceso de lavado o rerefino previo. Los principales procedimientos son los siguientes:

- Pretratamiento de aceites residuales.
- Lavado de aceites residuales.
- Fraccionamiento de aceites residuales.
- Acabado de aceites residuales.
- Tecnologías utilizadas para el rerefino de aceites residuales.

Las técnicas ambientales analizadas para determinar las MTD para el rerefino de aceites residuales se detallan a continuación. Las MTD específicas para rrefinar aceites residuales figuran en la tabla 3.11:

- Técnicas generales para aumentar el rendimiento del rerefino: enviar los residuos de la columna de destilación al vacío a una unidad selectopropano, enviar los residuos de fondo de la columna de destilación al vacío a una unidad de pirolesintegración para la producción de diesel, selección del grado de vacío adecuado en las unidades de destilación al vacío, uso de una unidad lavadora para reducir la contaminación de las emisiones de COV y recuperar materias primas, utilización de tamices para retirar materiales como la fibra de polímero, disponer de un depósito intermedio entre el tratamiento por deshidratación y la destilación.
- Elección de aceites residuales que se someterán a rerefino. Los aceites residuales apropiados para el reciclado son los siguientes (véase la MTD n.º 96):
 - a) Aceite de motor (negro), de características homogéneas y buscado por las plantas de rerefino.
 - b) Los aceites negros industriales son potencialmente apropiados para la regeneración, pero a causa de su contenido de aditivos y otras sustancias no son tan apreciados por las plantas de rerefino.
 - c) Aceites industriales ligeros que estén relativamente limpios.
- Proceso de destilación/arcilla. Véase la MTD n.º 100.
- Destilación y tratamiento químico o extracción por disolvente: consiste en una serie de evaporadores ciclónicos al vacío a los que sigue el tratamiento químico de los aceites de corte lubricantes obtenidos.
- Proceso de extracción por disolvente y destilación: el proceso de extracción con propano Interline se compone de tres etapas y no requiere fase final: pretratamiento químico con reactivos y catalizadores, extracción mediante propano líquido de las bases para lubricantes, separación del agua y el asfalto y la destilación atmosférica y al vacío, separación de las fracciones ligeras y los aceites de base para lubricantes. Véase la MTD n.º 101.
- Evaporador de capas finas y distintos procesos de acabado: la destilación al vacío es una fase habitual en muchas plantas de rerefino. Una técnica que conviene tener en cuenta es la utilización de sellos mecánicos en los ejes giratorios de los evaporadores de capas finas con agitación.
- Refinería de aceite por desasfaltado térmico. Véase la MTD n.º 102.
- Hidrotratamiento: una de las técnicas que debería tenerse en cuenta es el lavado o la incineración de gases residuales ácidos generados en los hidrotratamientos.

- Proceso de hidrogenación por contacto directo.
- Extracción por disolvente.
- Tratamiento mediante sosa cáustica y tierra de blanqueo.
- Tratamiento en refinería: las opciones de mezclado posibles son dos:
 - a) Mezclado de la materia prima (normalmente aceite crudo):

El aceite pretratado se mezcla con el aceite crudo y la mezcla resultante atraviesa la desaladora antes de entrar en la unidad de destilación de aceite crudo de una refinería existente.
 - b) Mezclado con los residuos del vacío:

El aceite residual pretratado se emplea como componente suplementario que se mezcla con el producto de fondo (residuo) en la columna de vacío.
- Gestión del agua en instalaciones de rerefino de aceites residuales: garantizar que cualquier agua efluente se someta a tratamiento antes de su descarga, utilización de una unidad de tratamiento de aguas residuales, reutilización de las aguas residuales limpias como refrigerante a partir del tratamiento apropiado y la regeneración de productos hídricos que puedan tener otros usos externos e introducción del agua efluente en el calentador junto con los aceites para eliminar así los componentes nocivos.
- Gestión de residuos en instalaciones de tratamiento de aceites residuales: combustión de aceites no lubricantes recuperados en un calentador equipado con un lavador de gases para proporcionar energía a la planta, tratamiento y eliminación de todos los filtros usados, aplicar tratamiento térmico a todos los residuos y empleo de los residuos procedentes de destiladoras al vacío y evaporadores como productos asfálticos. Véase la MTD n.º 104.

A continuación se precisa la aplicabilidad técnica de algunas de esas técnicas:

- Control riguroso de los materiales de entrada: está técnica es totalmente válida para cualquier instalación de tratamiento de residuos que reciba residuos. La desventaja del análisis de productos de desecho es que generalmente no se realiza una evaluación exhaustiva de todos los materiales que componen los residuos.
- Comprobación de, al menos, disolventes clorados y PCB. Pueden someterse a rerefino los siguientes aceites residuales:
 - a) Aceites de motor sin cloro.
 - b) Aceites hidráulicos sin cloro.
 - c) Aceites diatérmicos minerales no clorados.
 - d) Aceites de motor con cloro.
 - e) Aceites hidráulicos con cloro.
- La condensación como tratamiento para la fase gaseosa de la unidad de destilación en corriente de vapor: sólo se emplea en el tratamiento de volúmenes relativamente pequeños o flujos escasos (50-100 Nm³/h¹⁰); también, cuando se dispone de nitrógeno líquido y la concentración de COV es considerablemente elevada. Esta tecnología también puede utilizarse con volúmenes y concentraciones estables.
- Habilitación de líneas de retorno del vapor:
 - a) Oxidación térmica: entre sus aplicaciones está el tratamiento de emisiones generadas por

¹⁰ Nm³/h: metros cúbicos normales/hora

los depósitos de calentamiento empleados en la regeneración del aceite, que también incluye la recuperación de sus componentes. La condensación puede utilizarse como tratamiento previo de la oxidación térmica, ya que reduce las necesidades de combustible y el tamaño general de la unidad necesaria. Requiere dilución previa con aire cuando existe riesgo de que se alcance una concentración explosiva.

- b) Adsorción por carbón activado: se emplea para la reducción de COV, olores y emisiones fugitivas; también se utiliza como técnica de reducción de la contaminación en puntos de extracción locales, en el tratamiento de emisiones atmosféricas generadas al lavar el suelo o extraer contaminantes del suelo con disolvente, en el tratamiento de envases aerosoles y en plantas de tratamiento biológico y FQ. No es adecuado para la reducción de la contaminación de las emisiones atmosféricas de depósitos de calentamiento para la regeneración de aceites o si la concentración es muy elevada, las moléculas pequeñas o hay polvo presente; además, no puede adaptarse a algunas moléculas (p. ej. la acetona).
- Conducción de los flujos de ventilación a un equipo de oxidación térmica con tratamiento de gases residuales:
 - a) Condensación: puede emplearse como pretratamiento en la oxidación térmica, lo que reduce las necesidades de combustible y el tamaño general de la unidad necesaria. Aplicable a flujos de entre 50 y 100 Nm³/h y a cargas de entre 1 y 10 kg/h¹¹.
 - b) Lavado cáustico: de uso común en el tratamiento del aire extraído de la vasija del reactor mediante licor cáustico (una solución cáustica). Este proceso se utiliza ampliamente en plantas FQ.
- Puesta en marcha de un proceso de rerefino de aceite residual:
 - a) Técnicas generales: los aceites más adecuados son aquellos que no estén excesivamente contaminados, tengan un índice de viscosidad elevado y carezcan de ésteres y biolubricantes.
 - b) Destilación y tratamiento químico: para plantas de tamaño medio (25 kt/año¹²).
 - c) Proceso de extracción por disolvente: existe la posibilidad de realizar un rerefino en áreas con escasa producción de aceites residuales.
 - d) Evaporador de película fina: el tamaño de estas unidades varía entre 25 y 160 kt/año.
 - e) Proceso de desasfaltado térmico: se utiliza tanto en instalaciones grandes como pequeñas (100-108 kt/año y 40-100 kt/año).
 - f) Extracción por disolvente: aplicable a la totalidad del sector.
 - g) Sosa cáustica: utilizada con los aceites residuales.

¹¹ kg/h: kilogramos/hora

¹² kt/año: kilotoneladas/año

Tabla 3.11: MTD para la recuperación de materiales a partir de aceites residuales rerefinaos

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
95.- Control riguroso de los materiales de entrada complementado con equipos analíticos (viscosímetros, infrarrojos, cromatografía y espectrometría de masas, según sea necesario), laboratorios y recursos.	Mejora el conocimiento sobre posibles problemas ambientales asociados a los residuos que se someterán a tratamiento y reduce el riesgo de accidentes y operaciones erróneas. Véase la MTD n.º 6.	Según estimaciones, la inversión en equipo analítico para instalaciones de tratamiento de aceites residuales es de unos 75 000 EUR. Véase la MTD n.º 6.
96.- Comprobación de, al menos, disolventes clorados y PCB.	Los lubricantes usados pueden alcanzar un mayor índice de recuperación si se separan en combustibles y materiales nuevos para rerefino. Si se impide la entrada de compuestos clorados en el proceso de rerefino se evitarán además problemas operativos y ambientales. Véanse además las MTD n.º 6 y 95.	n. d. Véanse las MTD n.º 6 y 95.
97.- La condensación como tratamiento para la fase gaseosa de la unidad de destilación en corriente de vapor.	Los COV condensados se pueden recuperar. Es posible lograr emisiones muy bajas, de sólo 10 a 50 g/h y eficacias de hasta el 99,3 %. Las emisiones de cloroformo pueden descender nada menos que a 20 mg/Nm ³ . El nitrógeno se puede reutilizar para otros fines en las instalaciones.	Suele tener costes de explotación elevados. Coste de explotación de 2 EUR/t de un condensador de nitrógeno líquido (tratamiento con disolvente).
98.- Habilitación de líneas de retorno del vapor para la carga y descarga de vehículos; conducción de todas las salidas de ventilación hacia: a) una unidad de oxidación térmica/incinerador; b) un equipo de adsorción por carbón activado.	a) Sinergia con las instalaciones de combustión existentes. Permite recuperar energía por la combustión de los COV. b) El carbón activado empleado puede reutilizarse varias veces bien o usarse de combustible; la adsorción mediante carbón activado muestra una eficacia parecida a la de los equipos de oxidación térmica, pero con menos riesgos de explosión instantánea para los vehículos de carga/descarga. Las emisiones de COV de la trampa de carbón (disolventes clorados) son de 8-32 ng/Nm ³ o 215 kg/año al limpiar aceites usados. Véanse además las MTD n.º 28 y 63.	a) Los costes de adaptación pueden ser elevados. El titular puede compensar el coste de combustibles adicionales si en algún lugar de las instalaciones se necesita el calor residual generado. b) Sus costes de explotación son bajos si las concentraciones de COV son escasas; coste adicional de renovación del carbón activado. Véanse además las MTD n.º 28 y 63.

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>99.- Conducir los flujos de ventilación a un equipo de oxidación térmica con tratamiento de gases residuales en caso de que haya compuestos clorados presentes en el flujo. Si el flujo contiene niveles elevados de compuestos clorados, el proceso de tratamiento preferible será el siguiente:</p> <p>a) condensación seguida de</p> <p>b) lavado cáustico y</p> <p>c) lecho de seguridad de carbón activado.</p>	<p>a) Las emisiones de cloroformo pueden alcanzar un nivel de tan sólo 20 mg/Nm³.</p> <p>b) Aumenta la eficacia de la adsorción de contaminantes (de especial importancia para extraer gases ácidos mediante la inyección de partículas en el lavador en caso necesario).</p> <p>c) Véase la MTD n.º 98.</p>	<p>a) Costes de explotación normalmente altos.</p> <p>b) n. d.</p> <p>c) Véase la MTD n.º 98.</p>
<p>100.- Utilización de la oxidación térmica a 850 °C con dos segundos de tiempo de residencia para la abertura de destilación al vacío de los generadores de vacío o el aire procedente de los calentadores del proceso.</p>	<p>n. d.</p>	<p>n. d.</p>
<p>101.- Uso de un sistema de vacío de alta eficacia.</p>	<p>Aumenta la eficacia de los tratamientos de rerefino de aceites residuales.</p>	<p>n. d.</p>
<p>102.- Empleo de los residuos de destilación al vacío o evaporadores de película fina como productos asfálticos.</p>	<p>Reduce la cantidad de residuos generados a lo largo del tratamiento.</p>	<p>n. d.</p>
<p>103.- Recurrir a un proceso de rerefino de aceites residuales que proporcione un rendimiento del 65 % (en seco).</p>	<p>Es posible lograr rendimientos superiores al 65 % mediante la adecuada combinación de las siguientes técnicas:</p> <p>a) Técnicas generales para aumentar el rendimiento del rerefino.</p> <p>b) Selección de los aceites residuales que se someterán a tratamiento.</p> <p>c) Proceso de destilación/arcilla.</p> <p>d) Destilación y tratamiento químico o extracción por disolvente.</p> <p>e) Proceso de extracción mediante disolvente y destilación.</p> <p>f) Evaporador de capas finas y distintos procesos de acabado.</p>	<p>a) n. d.</p> <p>b) n. d.</p> <p>c) n. d.</p> <p>d) El coste de inversión para unas instalaciones de 108 kt/año es de 29 millones de USD.</p> <p>e) Reducción de costes de capital y explotación.</p> <p>f) El coste de inversión para unas instalaciones de 108 kt/año es de 43 millones de USD.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
	<ul style="list-style-type: none"> g) Proceso de desasfaltado térmico. h) Reciclado en una refinería de aceite lubricante. i) Hidrotratamiento. j) Proceso de hidrogenación por contacto directo. k) Extracción por disolvente. l) Tratamiento a base de sosa cáustica y tierra de blanqueo. 	<ul style="list-style-type: none"> g) El coste de unas instalaciones de desasfaltado térmico (TDA) de arcilla con una capacidad de 100 kt/año es de 280 EUR/t de aceite o de 304 EUR/l de aceite si son instalaciones de ATD de hidrotratamiento. h) Coste de capital de 45 millones de USD. i) El coste de capital es muy elevado. j) Productos de gran calidad, económicamente atractivos, y mayor rendimiento por tonelada de material de entrada. k) Más barata que la alternativa de hidroacabado. l) Productos de gran calidad con mayor rendimiento por tonelada de material de entrada.
<p>104.- Lograr los siguientes valores en las aguas residuales salientes de la unidad de rerefino:</p> <p>Hidrocarburos: < 0,01-5 ppm; fenoles: 0,15-0,45 ppm¹³ mediante una combinación de técnicas integradas en los procesos, o tratamientos primarios, secundarios, biológicos o de acabado.</p>	<p>Los niveles de COT son variables; dependen del tipo de tratamiento de residuos.</p>	<p>n. d.</p>

¹³ ppm: partes por millón

3.2.3.2. Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de disolventes residuales

Existen dos alternativas principales para el tratamiento de disolventes residuales:

- a) Aprovechamiento del valor calorífico al emplearlos directamente como combustibles o mezclarlos con otros combustibles.
- b) Tratamiento de disolventes residuales para transformarlos en materiales que puedan reutilizarse como disolvente (regeneración).

La regeneración de disolventes es una práctica habitual en numerosos sectores como el químico, el farmacéutico o de la pintura. Son muchos los disolventes que se regeneran actualmente; los más comunes son los que siguen:

- Alcoholes: etílico, isopropílico.
- Alifáticos: hexano, heptano.
- Aromáticos: benceno, nafta aromática, tolueno, xileno, aguarrás.
- Clorados: tricloroetileno, percloroetileno, cloruro de metileno.
- Ésteres: acetato de etilo, acetato de butilo.
- Cetonas: Metiletilcetona, metilisobutilcetona.
- Mezcla de disolventes: tolueno/xileno, alcoholes, cetonas, fenoles, tolueno/heptano.

Las técnicas ambientales analizadas para determinar las MTD (las MTD específicas para esta categoría figuran en la tabla 3.12) son las siguientes:

- Selección de los disolventes residuales que se someterán a reciclado. Los disolventes residuales compuestos por flujos únicos normalmente suelen regenerarse. Un disolvente residual podrá considerarse apto para la regeneración si, por ejemplo, procede de un flujo único (un solo lote procedente de un único equipo generador de residuos), proporciona un 60 % de destilado, cuenta con una cantidad mínima por carga y sus costes de destilación son iguales o inferiores a los de incineración. Véase la MTD n.º 105.
- Mejora del tratamiento regenerativo de disolventes residuales: utilización de la destilación azeotrópica, utilización de la destilación al vacío, uso de evaporadores de capas finas, calentamiento del flujo de entrada con el destilado por medio de un intercambiador térmico y medidas de aislamiento, reutilización en cascada del disolvente, empleo de sistemas de equilibrado del vapor y conducción de los gases residuales a los equipos de reducción de la contaminación (p. ej. técnicas de filtración por carbono activado, sistemas cerrados y empleo de líneas de equilibrado de vapor durante la carga), destilación para la separación de disolventes orgánicos de los sólidos, rectificación para extraer sustancias contaminantes y lograr una determinada calidad de salida de los residuos y deshidratación mediante decantación si los disolventes contienen enagua.
- Tratamiento de aguas residuales en instalaciones de disolvente residual: biorreactores, depósitos principales de aguas residuales, depósitos de almacenamiento de aguas residuales intermedios y equipos de ultrafiltración.
- Evaporación o destilación de residuos. Para la destilación de residuos se recurre a secadores por vacío y otras técnicas de secado. Véase la MTD n.º 106.
- Automatización completa de la incineración de residuos. En las plantas de destilación de disolventes se optimiza la descarga de lodos destinados a destilación. Por motivos de protección laboral y ambiental el proceso de descarga se ha automatizado por completo en la actualidad. A causa de su elevado valor calorífico, la transferencia de lodos a la planta de incineración interna se ha automatizado completamente.

Tabla 3.12: MTD para la recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de disolventes residuales

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
105.- Llevar a cabo un control exhaustivo de los materiales de entrada con ayuda de equipo analítico, laboratorios y recursos.	Véase la MTD n.º 95.	Véase la MTD n.º 95.
106.- Evaporar el residuo de las columnas de destilación y recuperar los disolventes.	Aumenta el porcentaje de disolvente recuperado hasta el 99 % del contenido del recipiente. También permite recuperar resinas y pigmentos. Posible reducción de olores y emisiones de COV que pudiera generar el material residual.	Costes de inversión de 1,2 millones de EUR. Costes de explotación variables de entre 100 y 150 EUR por tonelada de residuo tratada.

3.2.3.3. Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de catalizadores residuales

Aunque existen otras alternativas de tratamiento de catalizadores agotados, en este estudio sólo se han tenido en cuenta las instalaciones de regeneración *ex situ*. Este subapartado incluye además información sobre la recuperación de componentes a partir de residuos generados por las técnicas de reducción de la contaminación.

Los catalizadores usados en la industria del refino, por ejemplos los empleados en el hidrot ratamiento, hidro craqueo, reformado e isomerización, normalmente se regeneran. Los metales cuya regeneración presenta un interés económico son Rh, Cd, Pt, Ir, el níquel Raney y algunos catalizadores de petróleo como Ni-Co, Co-Mo o Co.

Las principales técnicas analizadas para determinar las MTD (que figuran en la tabla 3.13) para la regeneración de catalizadores residuales son las siguientes:

- Técnicas generales de tratamiento de catalizadores residuales: empleo del calor recuperado para la producción o la recuperación de energía. Para recuperar ese calor pueden utilizarse quemadores recuperativos, intercambiadores térmicos y calderas, oxígeno o aire enriquecido con oxígeno en los quemadores, precalentar el aire de combustión utilizado en los quemadores, precalentar el material introducido en el horno y controlar automáticamente el punto de extracción por medio de amortiguadores y el control de ventiladores para lograr que los equipos se desplieguen cuando y allí donde sean necesarios, por ejemplo durante el proceso de carga o durante la extracción de un convertidor. Véase la MTD n.º 107.
- Mejora del control del proceso: ajustar los niveles de temperatura y el tiempo de residencia del catalizador en la unidad para obtener los niveles deseados de carbono y azufre, enfriar previamente los equipos de filtros de mangas, uso de hornos sellados, que permiten capturar de forma muy eficaz los humos, uso de canalizaciones y ventiladores para conducir los gases capturados al equipo de reducción de la contaminación o de tratamiento, etc.
- Técnicas de reducción de la contaminación empleadas en el sector de la regeneración de catalizadores residuales: filtros de tela y lavadores (en húmedo). Véase la MTD n.º 108.

Los filtros de tejido se utilizan como mecanismos secundarios o terciarios de lavado de gases en combinación con un ciclón o un lavador (en seco) situado previamente en el proceso, lo que resulta apropiado para flujos elevados con concentraciones escasas (p. ej. 1-200 mg/Nm³), flujos de gas a baja temperatura y para aquellos casos en que el contaminante reacciona químicamente. Sin embargo, no es apropiado para flujos cargados de humedad o que sean ácidos, alquitranados o pegajosos.

Tabla 3.13: MTD para la recuperación de materiales: regeneración de catalizadores residuales

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
107.- Uso de filtros de mangas para reducir las partículas de los humos generados durante el proceso de regeneración.	<ul style="list-style-type: none"> Eficacia de captura elevada tanto para partículas finas como gruesas. Proceso válido para concentraciones elevadas. El polvo recogido puede reutilizarse en el proceso. Eficacia de captura elevada a altas temperaturas si se utilizan materiales especiales como por ejemplo el teflón. 	n. d.
108.- Uso de un sistema de reducción de SO _x .	<p>El lavado reduce las emisiones atmosféricas de COV, ácidos, amoníaco, partículas, etc., y aumenta la eficacia de la adsorción de contaminantes.</p> <p>Véase la MTD n.º 107.</p>	<p>Los costes varían en función del uso de productos químicos.</p> <p>Véase la MTD n.º 107.</p>

3.2.3.4. Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración del carbón activado residual

El objetivo de esta categoría de técnicas es el tratamiento del carbón activado agotado para producir un material cuyas propiedades y características sean muy parecidas a las del carbón activado original. Los tratamientos térmicos son los procesos más empleados en este tipo de regeneración. El proceso incluye fases de secado, desorción térmica y tratamiento por calor. Sólo es aplicable al carbón activado granular o extruido, pero no en polvo.

Técnicas que deben tenerse en cuenta para determinar las MTD:

- Elección del horno empleado para la regeneración del carbón activado residual: las opciones son los hornos de solera múltiple, los hornos rotatorios de calentamiento directo y los hornos de calentamiento indirecto (en los que no se produce contacto entre el contenido del horno y los gases de combustión generados por el quemador).
- Tratamiento de gases de combustión: empleo de un posquemador para los gases de salida del horno, diseño del regenerador y de las canalizaciones y equipos correspondientes para que funcionen a presión reducida con el fin de evitar que los gases del regenerador escapen a la atmósfera, utilización de la recuperación térmica, enfriamiento de los gases de combustión en un equipo de enfriamiento o un lavador Venturi, etc. Véase la MTD n.º 114 de la tabla 3.14.
- Plantas de tratamiento de aguas residuales: estos procesos requieren un sistema para el tratamiento del efluente líquido generado en la planta de tratamiento de gases de combustión. Algunas de las técnicas son las siguientes:
 - a) Utilización de la precipitación por hidróxidos en dos fases a distintos valores de pH.
 - b) Utilización de la precipitación por sulfuros para extraer los metales.
 - c) Empleo de la floculación.
 - d) Asentamiento.
 - e) Filtración o centrifugación para separar los materiales suspendidos.
 - f) Ajuste del pH para fomentar la precipitación de determinadas sustancias químicas.
 - g) Obtención de un efluente aceptable, etc. Véase la MTD n.º 116 de la tabla 3.14.

- Técnicas de control de la contaminación aplicables a la regeneración de carbón activado: medidas primarias de control de partículas (aplicables a la temperatura del horno, la velocidad de rotación del horno o el tipo de combustible), medidas secundarias dirigidas al control de partículas y gases ácidos (colectores mecánicos, lavadores en seco y en húmedo, precipitadores electrostáticos y filtros de tejido), medidas primarias para el control de NO_x (reducción de la temperatura del horno y de la de combustión, reducción del exceso de aire y, por tanto, reducción de la concentración de oxígeno atómico en zonas de temperaturas elevadas, reducción del tiempo de residencia en todas las zonas de temperaturas elevadas, control de la velocidad de salida del calor del horno y eliminación de picos de altas temperaturas, etc.) y medidas secundarias de control de NO_x (reducción catalítica selectiva y no selectiva, SO_x, NO_x, RO_x BOX).

A continuación se describe la aplicabilidad concreta de algunas de las anteriores técnicas (las MTD correspondientes figuran en la tabla 3.14):

- Puesta en marcha de un procedimiento efectivo de control de la calidad: las instalaciones de tratamiento de gases residuales pueden variar dependiendo del uso que se ha dado al carbón. Puede que los requisitos sean más estrictos si el carbón se ha utilizado en procesos industriales.
- Solicitar un compromiso escrito: de uso generalizado en el sector del tratamiento de residuos. En las plantas de tratamiento pequeñas es difícil poner en marcha un sistema de seguimiento.
- Uso de un horno de calentamiento indirecto con los carbones de procedencia industrial: para el tratamiento de carbones industriales, que requieren la aplicación de criterios de temperatura más estrictos en el posquemador.
- Habilitar una planta de tratamiento de aguas residuales preparada para una combinación de tratamientos: se utiliza en el tratamiento de efluentes generados por el enfriamiento o el lavado de gases de combustión.

Tabla 3.14: MTD para la recuperación de materiales: regeneración del carbono activado residual

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
109.- Implantar un procedimiento de control de la calidad efectivo que garantice que el operador pueda distinguir entre el carbón utilizado con el agua potable o de uso alimentario de otros carbones agotados (los llamados «carbones industriales»).	Reduce las emisiones de gas de combustión generadas.	Es posible que los carbones de uso industrial requieran técnicas de reducción de la contaminación más costosas.
110.- Solicitar un compromiso por escrito a los clientes donde se indique a qué uso se destinó el carbón.	De este modo se dispone de documentación escrita sobre el tratamiento al que se han sometido los distintos residuos.	n. d.
111.- Utilización de un horno de calentamiento indirecto para los carbones industriales, aunque podría argumentarse que este proceso es también válido para los carbones usados con aguas potables. Con todo, los límites de capacidad o de corrosión podrían obligar a utilizar únicamente hornos de solera múltiple u hornos rotatorios de calentamiento directo.	Las ventajas son las propias de no tener que mezclar los gases de combustión del quemador con los gases del proceso. Al tener que calentar un volumen de gas menor se ahorra energía y se reduce el tamaño de las instalaciones. Los gases de combustión del quemador que se han calentado indirectamente en el horno se dirigen hacia la base de la chimenea, donde pueden combinarse con los gases de combustión procedentes del horno para reducir la visibilidad de la pluma de humo resultante.	n. d.
112.- Uso de un posquemador con una temperatura mínima de 1100 °C, dos segundos de tiempo de residencia y un 6 % de exceso de oxígeno para la regeneración de carbones industriales que posiblemente contengan sustancias refractarias halogenadas o de otro tipo resistentes a las altas temperaturas.	Véase la MTD n.º 109.	Véase la MTD n.º 109.
113.- Uso de un posquemador con una temperatura mínima de calentamiento de 850 °C, dos segundos de tiempo de residencia y un 6 % de exceso de oxígeno para la regeneración de carbones activados usados con agua potable o alimentos.	Véase la MTD n.º 109.	Véase la MTD n.º 109.

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
114.- Habilitar un tren de tratamiento que conste de fase de extinción o lavado Ventura o acuoso seguido de un ventilador de tiro inducido.	Véase la MTD n.º 109.	Véase la MTD n.º 109.
115.- Utilización de una solución de lavado cáustica o de ceniza de sosa para neutralizar los gases ácidos de plantas de carbón industrial.	Véase la MTD n.º 109.	Véase la MTD n.º 109.
116.- Habilitar una planta de tratamiento de aguas residuales combinada que integre la floculación, asentamiento, filtración y ajuste del pH para el tratamiento de carbones utilizados con agua potable. En cuanto a los efluentes de los carbones industriales, la utilización de tratamientos adicionales (hidróxido metálico, precipitación por sulfuro) también se considera MTD.	Los niveles de liberación factibles de las sustancias más importantes correspondientes a estos procesos son los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos suspendidos: 50 mg/l; • Cadmio: 5 µg/l¹⁴; • Mercurio: 1-10 µg/l; • Otros metales pesados: <0,5 mg/l; • Simazina y atrazina: 1 µg/l. 	n. d.

3.2.3.5. Recuperación de materiales a partir de residuos: regeneración de resinas

La regeneración de resinas de intercambio de iones puede realizarse utilizando un sistema equilibrador del pH o agua caliente, que sólo es una opción si las resinas son térmicamente estables.

3.2.4. Preparación de residuos destinados a usarse como combustible

Estos tratamientos y procesos sirven para obtener materiales concretos que se utilizarán como combustible a partir de residuos o bien para alterar las características fisicoquímicas de los mismos con el objetivo de recuperar mejor su valor calorífico. Algunos tratamientos generan productos que pueden utilizarse para otros fines además de como combustibles. Estos procesos son muy parecidos y dependen únicamente de las propiedades físicas de los residuos de partida y de las propiedades físicas de salida que deberán tener una vez quemados en la cámara de combustión.

Los residuos que poseen algún valor calorífico se utilizan actualmente como combustibles en determinados procesos de combustión, como por ejemplo la incineración de residuos, hornos de cemento o cal, instalaciones de combustión de gran tamaño, plantas de calentamiento, procedimientos químicos, calderas industriales, plantas cerámicas, producción de ladrillos, producción de hierro y acero o producción de metales no ferrosos. Algunos de los sectores que utilizan estos residuos como combustible están directamente vinculados a la producción de los mismos, lo que

¹⁴ µg/l: microgramos/litro

implica que una parte de ellos no deberá someterse a una preparación adicional de cara a su empleo en el sector. En este subapartado se analiza también la transformación de distintos tipos de residuos en materiales adecuados como combustibles para distintos procesos: hornos de cemento o cal, incineración de residuos, instalaciones de combustión de gran tamaño y otros sectores.

En el capítulo 5 se analizan los usos posteriores de este tipo de residuos en diferentes sectores industriales.

En la región mediterránea es necesario centrarse en tres aspectos prioritarios antes de desarrollar instalaciones que preparen los residuos para su uso como combustibles: (a) la existencia de instalaciones industriales capaces de utilizar residuos peligrosos como combustible, (b) el valor calorífico de los residuos disponibles y (c) la necesidad de tratar previamente los residuos.

3.2.4.1. Preparación de los residuos sólidos que se utilizarán como combustible

Se considera que las siguientes técnicas muestran un buen rendimiento ambiental para la preparación de residuos sólidos:

- Secado de los residuos sólidos: dependiendo del contenido de agua y de las características físicas de los residuos es posible llevar a cabo una primera fase de deshidratación, que podría consistir en uno de los siguientes procedimientos:
 - a) Espesamiento por gravedad.
 - b) Espesamiento por centrifugación.
 - c) Espesamiento por flotación.
 - d) Cintas transportadoras por gravedad.
 - e) Espesamiento con tambor rotatorio.
- Separación magnética de metales no ferrosos: instalación de un separador magnético longitudinalmente sobre las cintas transportadoras, por encima de la trayectoria del material, reclasificar el material mediante un separador de tambor magnético o una polea magnética, ya que podría seguir habiendo partículas ferrosas pequeñas por debajo de la capa de material no magnético, aumento de la velocidad de la cinta transportadora para disponer de un nuevo nivel inferior del material y uso del diseño de sobrealimentación para el separador de tambor magnético.
- Separación de metales no ferrosos: modificar el tamaño del grano de los elementos no ferrosos de los residuos a entre 3 y 150 mm antes de su separación en un separador por corrientes turbillonarias, uso de un campo magnético alterno de alta frecuencia para mejorar la separación de metales no ferrosos de grano fino, colocación excéntrica del sistema de polos magnéticos, etc.
- Separadores de metal universales: durante la preparación de los residuos sólidos destinados a combustible se emplean separadores de metal universales para el procesamiento de plásticos. Si el material se diversifica antes del reconocimiento automático pueden obtenerse rendimientos elevados. Normalmente, todos los separadores de metal universales funcionan mediante una bobina de detección colocada transversalmente respecto a la dirección de transporte y cortada en forma de segmentos únicos.
- Clasificación positiva y negativa: la clasificación positiva implica que sólo se separan del flujo de residuos los materiales que interesan; es decir, los que tienen un elevado valor calorífico y un bajo contenido de sustancias peligrosas. Esta estrategia conlleva un aumento de los residuos destinados a vertederos y, a menudo, un aumento de la calidad de los residuos sólidos producidos destinados a combustible. Las estrategias de separación negativas sólo separan los materiales no deseados; con ella, es posible que se reduzca la cantidad de material destinada a los vertederos, ya que otros materiales con un mayor contenido de sustancias peligrosas podrían ir a parar al producto final..
- Uso de ayuda neumática para la reducción del tamaño: utilización de ayuda mecánica para procesar el material generado por la trituración (reducción del tamaño).

- Tamices de tambor: se obtienen los mejores resultados a una velocidad de rotación del 70 % de la velocidad crítica en modo cascada. La desventaja de este modo radica en que el tamiz crea aglomerados y finos que se liberan con mayor dificultad.
- Mejora de los filtros de polvo en los ciclones de clasificadores de aire: reutilización del aire empleado en los clasificadores y el purgado. Aproximadamente el 30 % del aire del flujo circular se descarga por el lado de presión del ventilador y se limpia mediante un filtro de polvo.
- Espectroscopia en el infrarrojo cercano: el material que debe separarse se alimenta a menudo a través de una cinta transportadora. Ésta normalmente funciona a velocidades rápidas, de modo que actúa casi como un dispositivo aislante. El detector consiste en un sensor espectroscópico que trabaja en el infrarrojo cercano y que explora la cinta en toda su amplitud y transmite los espectros característicos de los distintos materiales a un procesador de datos.
- Recogida automática: el material atraviesa un bajante vibratorio que alimenta una cinta transportadora debajo de la cual se ha situado un detector de metales que envía datos específicos de cada partícula al ordenador.
- Granulación y aglomeración: los aglomeradores de disco consisten en una carcasa metálica que contiene en su interior uno o más discos. La cara interior del reactor se rellena de material de forma discontinua y los discos, dotados de superestructuras para remover el material más eficazmente, empiezan a girar y a convertir la energía de fricción en calor de fricción. Cuando el material empieza a plastificar, el consumo de energía aumenta y se puede dar la señal para que se vacíe el reactor.
- Trituración criogénica: la trituración criogénica es un tratamiento consistente en la reducción del tamaño y el tamizado que se aplica a envases vacíos o llenos mantenidos a temperaturas muy bajas en una atmósfera inerte. El objetivo es separar el envase usado de pintura, tinta o sustancias similares en fracciones que después se reaprovecharán como combustible y metales secundarios y plásticos, pero con una reducción de las emisiones de COV y compuestos volátiles a consecuencia del uso de bajas temperaturas.

Algunas de las siguientes técnicas son generales, por lo que son de fácil aplicación; sin embargo, otras tienen aplicaciones específicas:

- Intentar entablar una relación estrecha con el destinatario del combustible obtenido de los residuos: la mezcla concreta de disolventes residuales se establece sobre la base de un buen conocimiento de los elementos que la constituyen con el objetivo de satisfacer los límites de valor calorífico o contaminantes, por ejemplo cloro y metales pesados.
- Producción de combustible residual a partir de residuos peligrosos: la adsorción es una técnica simple y fiable; también es posible proceder por lotes.
- Producción de combustible residual a partir de residuos peligrosos: disponer de información detallada sobre los procedimientos que se llevarán a cabo es una técnica totalmente aplicable a cualquier planta de tratamiento de residuos. Técnicas para la prevención de accidentes: algunas de ellas son específicas para el sector del tratamiento de residuos, mientras que otras son muy generales. Algunas sólo son relevantes desde el punto de vista del tratamiento de residuos peligrosos.

La tabla 3.15 muestra las MTD seleccionadas para la preparación de residuos destinados a convertirse en combustible.

Tabla 3.15: MTD para preparar los residuos que se emplearán como combustible

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
117.- Intentar entablar una relación estrecha con el destinatario del combustible obtenido de los residuos con el fin de que se produzca una adecuada transferencia de los conocimientos sobre la composición del combustible residual.	Ayuda a conocer las posibles emisiones y problemas operativos que podrían conocerse.	n. d.
118.- Habilitar un sistema de control de calidad que garantice las características del combustible residual final.	Véase la MTD n.º 117.	Véase la MTD n.º 117.
119.- Preparar los distintos tipos de combustibles residuales en función de su destino (p. ej., hornos de cemento), el tipo de horno (p. ej., combustión en parrilla, alimentación por soplado) y el tipo de residuos empleados para fabricar el combustible residual (p. ej., residuos peligrosos).	De este modo el destinatario dispondrá de combustible residual con las características fisicoquímicas necesarias.	n. d.
120.- Al producir combustibles residuales a partir de residuos peligrosos, utilizar carbón activado para las aguas menos contaminadas y tratamiento térmico para las muy contaminadas. Los tratamientos térmicos remiten tanto a tratamientos térmicos propiamente dichos o incineración. Véanse las MTD sobre incineración de residuos peligrosos (capítulo 4).	Las ventajas son el pulido final del efluente y la recuperación de sustancias que contiene antes de su reutilización o su conducción a las alcantarillas, aguas superficiales, etc. Véase además la MTD n.º 104.	n. d. Véase además la MTD n.º 104.
121.- Al producir combustibles residuales a partir de residuos peligrosos (RP), garantizar el correcto seguimiento de las normas relativas a los riesgos electrostáticos y de inflamación por motivos de seguridad. Uso de las siguientes técnicas: a) Disponer de todos los detalles de los procedimientos que se van a realizar. b) Implantar técnicas para evitar accidentes y sus consecuencias.	a) Ayuda a valorar las propuestas del titular y, en especial, las oportunidades de nuevas mejoras. b) El riesgo ambiental más significativo asociado al tratamiento de residuos corresponde al almacenamiento de residuos peligrosos y a las emisiones resultantes de la reacción conjunta propiciada por fugas, derrames o tratamientos fuera de control.	a) n. d. b) n. d.

3.2.4.1.1. Preparación de combustibles residuales sólidos a partir de residuos peligrosos

El objetivo de la preparación de este tipo de combustibles es conseguir adaptarlos a medida, que sean homogéneos y fluyan fácilmente para su empleo en procesos de combustión, lo que además puede facilitar su tratamiento/uso. Los tipos de residuos empleados son pastosos, en polvo o sólidos, principalmente peligrosos y, en determinados casos, ciertos residuos líquidos. El proceso se compone de una preparación mecánica de los residuos sólidos por impregnación de los mismos sobre un medio. Los principales destinatarios son plantas de coincineración como, por ejemplo, hornos de cemento. La tabla 3.16 recoge las MTD seleccionadas para la preparación de combustible residual sólido a partir de residuos peligrosos.

Tabla 3.16: MTD para la preparación de combustible residual sólido a partir de residuos peligrosos

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
122.- Tener presentes las emisiones y los riesgos de inflamación en caso de requerir un procedimiento de secado o calentamiento.	Contribuye a reducir y hacer más limpias las emisiones generadas durante el tratamiento de residuos líquidos. Resulta crucial para la comercialización del combustible residual líquido que cualquier contenido elevado de sólidos retenido en el aceite caliente se elimine. Véase además la MTD n.º 121.	n. d. Véase además la MTD n.º 121.
123.- Considerar la posibilidad de realizar las operaciones de mezclado en zonas cerradas dotadas de sistemas de control de aire adecuados.	Así se reducen las emisiones fugitivas (por ejemplo, de COV o partículas) y los derrames. Véase además la MTD n.º 122.	n. d. Véase además la MTD n.º 122.
124.- Uso de filtros de mangas para la reducción de la contaminación particulada.	Véase la MTD n.º 107.	Véase la MTD n.º 107.

3.2.4.2. Preparación de residuos líquidos que se utilizarán como combustible

El objetivo es conseguir que el combustible residual líquido se vuelva fluido y se desplace al aplicarle una presión o gravedad distintas. Algunos de los materiales producidos pueden ser muy viscosos y muy difíciles y caros de bombear. Los residuos de salida de estos tratamientos reciben el calificativo de «combustibles residuales líquidos» independientemente de si son líquidos o semilíquidos.

Normalmente, los materiales preparados a través de este tipo de tratamientos son residuos peligrosos. En función del tipo de residuos y de las necesidades del mercado pueden prepararse varios combustibles líquidos residuales:

- Preparación de líquidos orgánicos por mezclado.
- Fluidificación.
- Emulsiones.
- Lodos (técnica emergente).

Técnicas analizadas para la determinación de las correspondientes MTD:

- Técnicas generales para la preparación de combustibles residuales líquidos: uso de unidades intercambiadoras de calor externas a los depósitos, empleo de la adsorción por carbón o la

condensación para evitar las emisiones de COV, extracción del alto contenido en sólidos de los residuos líquidos que se van a transformar en combustible, eliminación del aceite del efluente líquido antes de su descarga al flujo de aguas contaminadas o aguas de otro tipo, garantizar que en el interceptor de aceite multicámara cada cámara sea lo suficientemente grande para permitir una retención de seis minutos al máximo caudal previsto y empleo de un agitador vertical sin ningún punto de apoyo dentro del depósito.

- Pirodesintegración de aceites residuales. Véase la extracción por disolventes.
- Los filtros de membrana utilizados para el procesamiento ligero de aceites residuales deben recibir un tratamiento previo que proteja el sistema de membranas.

3.2.4.2.1. Preparación de combustibles residuales líquidos a partir de residuos peligrosos

Los procesos posibles son dos: mezclado y fluidificación.

Los procesos de mezclado se basan en el control del procedimiento de mezcla por medio de la adición de sustancias químicas o tensioactivos especialmente seleccionados que dan como resultado emulsiones normalmente obtenidas a partir de residuos peligrosos como, por ejemplo, aceites y emulsiones procedentes de las industrias mecánica y metalúrgica, residuos y lodos que contienen aceite procedentes del refinado de petróleo, fallos de producción, etc. Los principales destinatarios son las plantas de coincineración como los hornos de cemento.

Los procesos de fluidificación se utilizan para homogeneizar y triturar los residuos líquidos, pastosos y sólidos conjuntamente con el fin de producir un líquido que pueda utilizarse como combustible. Los materiales residuales de entrada normalmente se componen de aceites usados, disolventes residuales, residuos generados por la síntesis química orgánica, aceites y grasas, etc.

Los principales destinatarios son las plantas de coincineración, por ejemplo los hornos de cemento.

Las MTD correspondientes se indican en la tabla 3.17.

Tabla 3.17: MTD para la preparación de combustible residual líquido a partir de residuos peligrosos

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
125.- Uso de unidades intercambiadoras de calor externas al depósito en caso de que sea necesario calentar el combustible líquido.	Véase la MTD n.º 122.	Véase la MTD n.º 122.
126.- Adaptación del contenido de sólidos suspendidos para garantizar la homogeneidad del combustible líquido.	Véase la MTD n.º 122.	Véase la MTD n.º 122.

3.2.4.2.2. Tratamiento de aceites residuales cuando los residuos de salida estén destinados a usarse básicamente como combustible

El tratamiento de aceites residuales para reconvertirlos en materiales que sirvan de aceite base para la producción de lubricantes, es decir, el proceso de rerefino, se describe en el apartado 3.2.3.1.

En esta sección se analizan los tratamientos en los que el aceite residual, a causa de su valor calorífico, se trata para producir materiales que se usarán principalmente como combustibles, además de para otros usos (p. ej. absorbente, aceite para desprender moldes, aceite de flotación).

Cuando se emplea como combustible sustituto, especialmente del carbón, diesel o fueloil ligero, el aceite usado tiene valor económico. Existen varias aplicaciones de quemado o combustión posibles

para el aceite usado, que se distinguen en parte por la temperatura de combustión y en parte por la tecnología de control utilizada para la reducción de los efectos ambientales. Antes de su uso como combustible (que se trata en el capítulo 5) es necesario poner en práctica varios tratamientos de limpiado o transformación, por ejemplo:

- Combustión directa de aceites residuales: hornos de cemento, incineradores de residuos, altos hornos y grandes plantas de combustión.
- Regeneración ligera de aceites residuales: tratamientos de limpiado que impliquen el asentamiento de los sólidos y el agua, desmineralización química, centrifugación y filtrado mediante membrana.
- Regeneración exhaustiva: consiste en la separación de la fracción de aceite residual combustible de la fracción de residuos no deseados (fondo) compuesta de metales, cenizas no combustibles, arena y tierra.
- Piroidesintegración: utiliza el calor para romper las moléculas de los hidrocarburos de cadena larga en cadenas más pequeñas que permiten producir combustibles líquidos más ligeros, un proceso que se lleva a cabo en refinerías.
- Hidrotratamiento: hidrogenación catalítica en el sector del aceite mineral.

3.2.4.3. Preparación de combustibles gaseosos a partir de residuos

Existen dos sistemas para producir residuos gaseosos a partir de residuos:

- Gasificación de los residuos a altas temperaturas por oxigenación parcial y posterior conversión de los materiales que contienen carbono en gases de síntesis (principalmente H₂ y CO).
- Producción de biogás, básicamente metano, por digestión anaeróbica de los residuos (analizada en mayor profundidad en el apartado 3.2.1 sobre tratamientos biológicos).

Se trata de opciones para la reutilización de aceites residuales, además de otros tipos de residuos, especialmente si el combustible gaseoso tiene aplicación *in situ*.

3.3. TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES

Son muchas las técnicas no productivas que se utilizan en el sector del tratamiento de residuos para, en concreto, controlar y reducir las emisiones a la atmósfera, el agua, el suelo y los residuos.

Al tratarse de técnicas al final de la cadena deberían poder aplicarse a la totalidad de la región mediterránea y, en particular, al sector de tratamiento de residuos peligrosos.

3.3.1. Tratamiento de las emisiones atmosféricas

Este apartado analiza las técnicas usadas en el sector del tratamiento de residuos para reducir, limitar o controlar las emisiones a la atmósfera. Es necesario hacer hincapié en la prevención de la producción y la diseminación de contaminantes.

Las siguientes técnicas sirven para evitar o controlar las emisiones de, principalmente, polvo, olores y COV, además de ciertos compuestos orgánicos. Se basan en limitar el empleo de depósitos, recipientes y fosos abiertos, en el uso de sistemas de cerramiento con extracción (también por presión negativa) conducida a una planta de tratamiento adecuada, la utilización de sistemas de extracción adaptados al volumen, el correcto funcionamiento o mantenimiento del equipo de reducción de la contaminación, la implantación de un sistema de lavado, disponer de procedimientos de detección y reparación de fugas y reducir las emisiones a la atmósfera por medio de técnicas de prevención/reducción.

La aplicabilidad concreta de algunas de estas MTD es la que se muestra a continuación (la lista completa puede consultarse en la tabla 3.18):

- Limitar el uso de depósitos abiertos: suele aplicarse al almacenamiento de residuos que podrían provocar emisiones fugitivas (de, por ejemplo, COV o partículas).
- Uso de un sistema de cerramiento dotado de extracción: las limitaciones del uso de cerramientos completos en las pocas plantas en las que otras opciones de control no resultan aceptables son muy numerosas.
- Correcto funcionamiento y mantenimiento del equipo de reducción de la contaminación: esta técnica es apropiada para grandes caudales de escasa concentración (1-200 mg/Nm³ de COV), flujos de gas a baja temperatura y cuando el contaminante reacciona químicamente (o es soluble, como en el caso de los contaminantes de los COV). Normalmente se utiliza en caso de emisiones puntuales generadas por estos compuestos, resultantes de la captura de gas procedente de depósitos o zonas y que se conducen hacia el equipo de reducción de la contaminación o bien directamente a la chimenea o respiradero. También puede usarse para el tratamiento de gases residuales generados durante el proceso de carga de depósitos de almacenamiento.
- Implantación de un sistema de lavado: Los lavadores de ácido se utilizan para capturar las emisiones de amoníaco liberadas durante el tratamiento ácido del proceso de rerefino de aceites residuales. También se emplean lavadores de aceite mineral para atrapar los COV y los olores en las instalaciones de tratamiento de aceites residuales. El hipoclorito o el peróxido de hidrógeno también pueden utilizarse en el lavado del cianuro y el control de los olores. Un sistema de dos fases podría ser útil para, por ejemplo, lavadores alcalinos o por oxidación en serie.
- Disponer de procedimientos de de detección y reparación de fugas: técnica adecuada para plantas que contengan un elevado número de componentes de canalización (por ejemplo válvulas) y procesen una cantidad significativa de hidrocarburos ligeros (p. ej., disolventes).
- Reducción de las emisiones a la atmósfera.
 - a) Técnicas de prevención generales: para controlar las emisiones de COV se suelen utilizar cubiertas o tapas sintéticas.
 - b) Programa de detección y reparación de fugas: apropiado para instalaciones que contengan muchos componentes de canalización.
 - c) Ciclones: sólo pueden utilizarse en combinación con filtros de mangas y no son eficaces a la hora de separar partículas pequeñas.
 - d) PES (precipitadores electrostáticos): no son adecuados para partículas orgánicas.
 - e) Filtros de tejido: se utilizan tanto para las emisiones atmosféricas fugitivas como puntuales.
 - f) Separadores de láminas: sólo se utilizan para la separación de partículas gruesas de polvo.
 - g) Adsorción: usada en la reducción de COV.
 - h) Condensación: cuando la concentración de COV es bastante elevada.
 - i) Espumas (temporales y a largo plazo): de uso común para controlar las emisiones de COV durante la remediación de instalaciones de residuos peligrosos que contienen compuestos volátiles tóxicos.
 - j) Biofiltros: se usan para limpiar grandes volúmenes de gases de escape con cargas orgánicas bajas. Adecuados para flujos elevados, bajas concentraciones, gases a bajas temperaturas y cuando los contaminantes son solubles.
 - k) Incineración: su aplicación no está limitada.
 - l) Combustión combinada: requiere dilución previa en el aire cuando existe peligro de que se alcance una concentración explosiva.
 - m) Combustión catalítica: considerando los factores de interferencia, su aplicabilidad práctica parece problemática.

Tabla 3.18: MTD para el tratamiento de las emisiones a la atmósfera

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>35.- Limitar el uso de depósitos, recipientes y fosos abiertos del modo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impidiendo la salida o descarga directa a la atmósfera. • Manteniendo los residuos o materias primas bajo cubierto o en envases impermeables (véase también la información sobre almacenamiento y manipulación). • Conectando el espacio libre situado encima de los depósitos de asentamiento al sistema de escape general de las instalaciones y a unidades de lavado. 	<p>Reducción de las emisiones fugitivas (de, por ejemplo, COV o partículas) y derrames.</p>	<p>n. d.</p>
<p>36.- Uso de un sistema de cerramiento dotado de extracción (también por presión negativa) conducida a una planta de tratamiento adecuada.</p> <p>Esta técnica resulta especialmente importante en procesos que impliquen el traspaso de líquidos volátiles, también durante la carga y descarga de cisternas.</p>	<p>El cerramiento permite capturar cualquier emisión, que después puede dirigirse a algún tipo de dispositivo de control adecuado para emisiones puntuales. El cerramiento puede tener o no un sistema de aire interno. Si se diseña y utiliza adecuadamente, el cerramiento puede reducir las emisiones fugitivas a niveles insignificantes.</p>	<p>El coste de capital de la estructura de cierre total es relativamente elevado. Los costes de explotación también pueden ser muy elevados si es necesario tratar y expulsar grandes volúmenes de aire para mantener la concentración de contaminantes en la atmósfera interna creada dentro de los límites de seguridad para la salud de los trabajadores.</p>
<p>37.- Implantar un sistema de extracción del tamaño apropiado que permita cubrir los depósitos de retención, zonas de pretratamiento, depósitos de almacenamiento, depósitos de mezclado/reacción y áreas de la prensa filtradora. Otra alternativa sería poner en marcha un sistema independiente para tratar los gases de escape de determinados contenedores.</p>	<p>Los filtros de carbón activado utilizados para los depósitos que contienen residuos contaminados con disolventes reducen las emisiones fugitivas atmosféricas (por ejemplo, COV y olores).</p>	<p>Véase la MTD n.º 36.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>38.- Correcto funcionamiento y mantenimiento del equipo de reducción de la contaminación, incluida la manipulación y el tratamiento/eliminación de materiales de desecho utilizados para el lavado de los lavadores.</p>	<p>Los lavadores reducen la emisiones a la atmósfera de COV, ácidos, amoníaco, partículas, etc. Mayor eficacia de la adsorción de contaminantes gracias al contacto entre partículas y gases (de especial relevancia para la extracción de gases ácidos mediante la inyección de partículas básicas en el lavador, cuando ésta técnica sea factible).</p>	<p>A continuación se resumen los costes de lavado de los sistemas de control de las emisiones durante la excavación y la extracción:</p> <p>Técnica de control de las emisiones: sistema rociador de agua: gastos de material de 0,001 (USD/m²¹⁵), teniendo en cuenta que el coste del servicio de agua es de 1 USD/1000 litros. El agua requiere reutilizarse constantemente. Alquiler de camión cisterna para el transporte de agua: 500 USD/semana.</p> <p>Técnica de control de las emisiones: aditivos: agente tensioactivo: 0,65 USD/m²; higrosal: 2,58 USD/m²; bitumen/adhesivos: 0,02 USD/m². Los costes varían dependiendo del uso de sustancias químicas.</p>
<p>39.- Disponer de un sistema de lavado para grandes descargas gaseosas inorgánicas generadas por las operaciones unitarias que producen emisiones puntuales en los procesos. Instalación de un lavador secundario en determinados sistemas de pretratamiento en caso de que la descarga sea incompatible o demasiado concentrada para el lavador principal.</p> <p>(Véase también la MTD n.º 38).</p>	<p>Véase la MTD n.º 38.</p>	<p>Véase la MTD n.º 38.</p>
<p>40.- Poner en marcha procedimientos de detección y reparación de fugas en instalaciones que cuenten con un gran número de elementos de canalización y almacenamiento, además de con componentes con tendencia a producir fugas y crear así problemas ambientales. Puede considerarse un elemento del SGA (véase también el capítulo sobre gestión ambiental).</p>	<p>El programa de detección y reparación de fugas detecta las fugas de COV en las válvulas, bombas y otros elementos de canalización.</p>	<p>El coste de la inspección para detectar las fugas y las reparaciones correspondientes puede compensarse en parte con los ahorros que supone la menor pérdida atmosférica de materiales. Estos ahorros dependerían del valor del material que se perdería.</p>

¹⁵ USD/m²: dólares de Estados Unidos/metro cuadrado

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>41.- Reducción de emisiones atmosféricas hasta los siguientes niveles:</p> <p>NIVELES DE EMISIÓN (mg/Nm³):</p> <p>COV: 7-20 (para cargas de COV bajas; el límite superior puede aumentar hasta un valor de 50)</p> <p>MP: 5-20</p>	<p>Es posible reducir las emisiones atmosféricas mediante una combinación apropiada de MTD para emisiones a la atmósfera (números 35 a 41) y las técnicas siguientes:</p> <p>a) Técnicas de prevención generales.</p> <p>b) Programa de detección y reparación de fugas.</p> <p>c) Ciclones.</p> <p>d) Precipitadores electrostáticos (PES).</p> <p>e) Filtros de tela.</p> <p>f) Separadores de láminas.</p> <p>g) Adsorción.</p> <p>h) Condensación.</p> <p>i) Espumas temporales y a largo plazo.</p> <p>j) Biofiltros.</p> <p>k) Lavado (lavadores).</p> <p>l) Incineración.</p> <p>m) Combustión combinada.</p> <p>n) Combustión catalítica.</p> <p>o) Tratamientos por oxidación.</p> <p>p) Tratamiento combinado del aire de escape.</p>	<p>a) n. d.</p> <p>b) Puede compensarse en parte con el ahorro que supone reducir la pérdida atmosférica de material.</p> <p>c) Son relativamente económicos.</p> <p>d) n. d.</p> <p>e) n. d.</p> <p>f) n. d.</p> <p>g) Costes de explotación bajos a bajas concentraciones de COV.</p> <p>h) Costes de explotación normalmente elevados.</p> <p>i) n. d.</p> <p>j) Tienen costes de explotación inferiores a otras tecnologías de control de la contaminación atmosférica.</p> <p>k) n. d.</p> <p>l) La rentabilidad del procedimiento viene determinada por el volumen del caudal que deberá tratarse y las concentraciones de contaminantes.</p> <p>m) Los costes de adaptación pueden ser elevados.</p> <p>n) El coste de inversión es relativamente elevado.</p> <p>o) n. d.</p> <p>p) n. d.</p>

3.3.2. Gestión de aguas residuales

Este apartado sólo analiza la gestión de las aguas residuales una vez se ha producido la contaminación.

El principal objetivo de los tratamientos de aguas residuales es la reducción del contenido de DBO de los efluentes líquidos (y, en consecuencia, una reducción asociada de DQO). El tratamiento consiste normalmente en una fase de agitación, que no sólo homogeneiza los lodos sino que fomenta los siguientes procesos: descomposición de partículas sólidas, desorción de partículas sólidas, desorción de residuos de las partículas, contacto entre los residuos orgánicos u microorganismos y oxidación de los lodos por aireación.

En general, el tratamiento y la purificación de aguas residuales generadas en plantas de tratamiento de residuos son un elemento importante de esas plantas, básicamente a causa de las cargas

contaminantes elevadas potencialmente presentes en las aguas residuales. Cabe distinguir entre los procesos de separación y los de conversión:

Procesos de separación:

- Tratamiento mecánico.
- Evaporación.
- Adsorción.
- Filtración.
- Nanofiltración y ultrafiltración.
- Ósmosis inversa.
- Centrifugación.

Procesos de conversión:

- Oxidación en húmedo mediante H₂O₂.
- Ozonización.
- Precipitación/neutralización.
- Tratamientos biológicos aeróbicos y anaeróbicos de las aguas residuales.

La gestión de aguas residuales es un paso esencial en cualquier planta de tratamiento de residuos peligrosos, también en las de la región mediterránea; las técnicas necesarias dependen de los procesos llevados a cabo en las instalaciones y de los valores límite de las emisiones hídricas.

A continuación se muestra la aplicabilidad concreta de algunas de las técnicas seleccionadas para la gestión de aguas residuales (la lista de MTD figura en la tabla 3.19):

- Reducción del uso de agua y la contaminación: forma parte del SGA integral de las instalaciones. Algunas técnicas sólo se utilizan en complejas plantas de tratamiento de residuos para identificar oportunidades que permitan maximizar la reutilización del agua y minimizar su uso. Puede que algunas de estas técnicas tengan una aplicabilidad limitada dependiendo de si el agua se libera continuamente o por lotes y de si la planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra dentro o fuera de las instalaciones.
- Puesta en marcha de procedimientos: de aplicación general en la mayoría de instalaciones de tratamiento de residuos.
- Separación de los sistemas de recogida de agua: suele llevarse a cabo a través de dos sistemas independientes, uno dedicado a las aguas pluviales, que normalmente no se tratan, y otro dedicado a la recogida de todos los demás efluentes acuosos que normalmente se generan de forma conjunta.
- Maximización de la reutilización de aguas residuales tratadas: la aplicación de esta técnica puede verse limitada por el aumento de la concentración de algunos componentes solubles que podrían interferir en el proceso de tratamiento de los residuos.
- Realización de inspecciones diarias de los sistemas de gestión de efluentes: la frecuencia de esta técnica depende en ocasiones de un enfoque basado en el riesgo.
- Identificación de los principales componentes químicos: en esta técnica se debe tener en cuenta que no es realista realizar un análisis del impacto ambiental de todas las variantes que presenten las descargas generadas por unas instalaciones de tratamiento de residuos.
- Descargar únicamente las aguas residuales almacenadas cuando hayan concluido todas las medidas de tratamiento: esta técnica podría requerir un depósito de almacenamiento adicional, lo que potencialmente podría ser costoso y requerir más espacio, sobre todo si los caudales son grandes y continuados.

- Cumplir con los valores de las emisiones hídricas:
 - a) Tratamientos de aguas residuales primarios: utilización de un sistema de extracción de volátiles (*stripper*) para extraer los hidrocarburos halogenados y no halogenados de las soluciones acuosas disueltas.
 - b) Tratamientos de aguas residuales secundarios: la precipitación química se emplea para extraer los iones de metal de las aguas residuales.
 - c) Tratamientos de aguas residuales terciarios: muy efectivos para la eliminación de compuestos de nitrógeno y compuestos de carbono orgánico biodegradables.

Tabla 3.19: MTD para la gestión de aguas residuales

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>42.- Reducción del uso de agua y de la contaminación del agua mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la impermeabilización de las instalaciones y la adopción de métodos de retención durante el almacenamiento; • la realización de inspecciones periódicas de los depósitos y fosos; • la separación de los flujos de aguas en función de su carga contaminante; • la implantación de depósitos de recogida de seguridad; • la realización de auditorías regulares del agua; • la separación del agua de procesos del agua pluvial. <p>(Véase también la MTD n.º 46)</p>	<p>La reducción del consumo del agua puede ser un objetivo ambiental (o económico) válido en sí mismo. Además, desde el punto de vista de la reducción de las emisiones contaminantes, son varios los beneficios que se lograrían, en concreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beneficios asociados al mismo proceso (reducción de las necesidades energéticas de calentamiento y bombeo del agua). • Reducción de la disolución de contaminantes en el agua, lo que conlleva a su vez una reducción en la generación de lodos por parte de la planta de tratamiento de efluentes. • La realización de un cálculo del balance de masas en el agua suele ser útil al mostrar dónde podrían producirse reducciones en el consumo. 	<p>Éstas son algunas de las ventajas económicas que tendría la aplicación de la técnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducir el tamaño necesario de las (nuevas) plantas de tratamiento de aguas residuales. • Reducir los costes de los procesos en que se reutilice el agua interna o bien se compre o se elimine a través de terceros.
<p>43.- Implantar procesos que garanticen que las características de los efluentes son apropiadas para el sistema de tratamiento de efluentes de las instalaciones o su descarga.</p>	<p>Estas técnicas generalmente minimizan las emisiones que afectan a los cursos de agua. También pueden reducir el riesgo de contaminación de aguas de proceso o superficiales así como las emisiones odoríferas y de COV.</p>	<p>n. d.</p>
<p>44.- Evitar que los efluentes se desvíen de la planta de tratamiento.</p>	<p>Véase la MTD n.º 43.</p>	<p>Véase la MTD n.º 43.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
45.- Implantar y utilizar un sistema de cerramiento que permita recoger las aguas pluviales que caen sobre las zonas de procesamiento junto con los líquidos de lavado de las cisternas para que se devuelvan a la planta de procesamiento o vayan a parar a un interceptor combinado.	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.
46.- Separar los sistemas de recogida de aguas en función de si las aguas son potencialmente más o menos contaminadas.	Evita posteriores problemas durante el tratamiento y la dilución.	n. d.
47.- Construir una losa de hormigón que abarque la totalidad de la zona de tratamiento y evacue a los sistemas de drenaje internos para que conduzcan los líquidos a depósitos de almacenamiento o interceptores que recojan las aguas pluviales y cualquier posible derrame. Los interceptores que desaguan al alcantarillado normalmente requieren sistemas de seguimiento automáticos como, por ejemplo, medidores del pH que puedan interrumpir el proceso de desagüe. (Véase también la MTD n.º 63).	Véase la MTD n.º 42.	Véase la MTD n.º 42.
48.- Recoger las aguas pluviales en un depósito especial para su verificación, comprobación de posibles contaminaciones y usos futuros.	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.
49.- Maximizar la reutilización de las aguas residuales tratadas y el uso de las aguas pluviales en las instalaciones.	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.
50.- Realizar comprobaciones diarias del sistema de gestión de efluentes y mantener un registro de todas las inspecciones realizadas basado en un sistema de seguimiento de la calidad de los efluentes y lodos que se descarguen.	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
51.- En primer lugar, identificar las aguas residuales que puedan contener compuestos peligrosos . En segundo lugar, separar los flujos de agua residual de las instalaciones previamente identificados y, en tercer lugar, tratar de forma especial las aguas residuales, dentro y fuera de las instalaciones.	Véase la MTD n.º 46.	Véase la MTD n.º 46.
52.- En última instancia, tras la aplicación de la MTD n.º 42, seleccionar la técnica de tratamiento adecuada para cada tipo de aguas residuales.	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.
53.- Implantar medidas que aumenten la fiabilidad de los controles y procesos de reducción de la contaminación necesarios (por ejemplo, optimizando la precipitación de los metales).	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.
54.- Identificar los principales componentes químicos del efluente tratado (incluido el comportamiento de la DQO) y redactar una valoración informada del destino de estas sustancias químicas en el medio ambiente.	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.
55.- Descargar únicamente las aguas residuales almacenadas cuando hayan concluido todas las medidas de tratamiento y la posterior inspección final.	Véase la MTD n.º 43.	Véase la MTD n.º 43.
56.- Lograr los siguientes valores de emisión hídrica antes de la descarga: VALOR DE LAS EMISIONES (ppm) <ul style="list-style-type: none"> • DQO: 20-120 • DBO: 2-20 • Metales pesados (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn): 0,1-1 • Metales pesados altamente tóxicos: As: < 0,1; Hg: 0,01-0,05; Cd: < 0,1-0,2; Cr (IV): < 0,1-0,4 (Véanse además las MTD n.º 42-55)	La reducción de las emisiones hídricas puede lograrse mediante la adecuada combinación de las MTD de gestión de aguas residuales y las siguientes técnicas: a) Tratamientos de aguas residuales primarios. b) Tratamientos de aguas residuales secundarios. c) Tratamientos de aguas residuales terciarios. d) Recoger datos sobre los componentes de los efluentes generados por las instalaciones de tratamiento de residuos.	a) n. d. b) n. d. c) n. d. d) n. d.

3.3.3. Gestión de residuos generados en los procesos

Por «residuo» se entiende cualquier desecho sólido generado por un procedimiento de tratamiento de residuos y no está directamente relacionado con el tipo de residuo tratado en las instalaciones.

Para gestionar este residuo pueden adoptarse las técnicas generales de gestión ambiental (apartado 3.1.1), que resultan factibles para las instalaciones de los países mediterráneos siempre que se tomen en consideración las características de las mismas.

Este apartado analiza los siguientes tipos de técnicas:

- Técnicas para la reducción de residuos generados a causa de los tratamientos.
- Gestión de los residuos generados a causa de los tratamientos.
- Técnicas centradas en la reducción de la contaminación del suelo.

La aplicabilidad concreta de algunas de las técnicas de gestión de residuos generados durante el proceso (las MTD correspondientes figuran en la tabla 3.20) es la siguiente:

- Maximización del uso de envases reutilizables: el reaprovechamiento de envases y *pallets* depende de si se han fabricado previendo su reutilización o no. En ciertos casos es posible que la reutilización entre en conflicto con las normas del ADR en caso de que el envase no se reacondicione adecuadamente.
- Reutilización de bidones en buen estado: el reciclado de bidones debe tener en cuenta la posible contaminación de los mismos a causa del contenido. Los bidones no apropiados para el reciclado directo normalmente se envían a instalaciones que los tratan apropiadamente.
- Reutilización de los residuos procedentes de otros procedimientos/tratamientos cuando ésta sea posible: técnica aplicable si existen sinergias y se desarrollan otras actividades.

Tabla 3.20: MTD de gestión de residuos generados durante los procesos

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
57.- Disponer de un plan de gestión de residuos integrado en el SGA que incluya técnicas de buenas prácticas ambientales y de referencia interna. Véanse además las MTD n.º 1 y 3.	Garantiza un uso prudente de los recursos naturales y puede reducir la generación de residuos. Reduce las emisiones derivadas de la gestión de los residuos manipulados en las instalaciones y minimiza la cantidad general de residuos, además de ayudar a identificar recorridos de eliminación adecuados.	Por lo que respecta al desembolso de capital y los costes de explotación, los lodos son un componentes significativos, mientras que la gestión y eliminación de residuos sólidos seguirá siendo una de las cuestiones más importantes a las que se enfrenten los titulares.
58.- Maximizar el uso de envases reutilizables (bidones, contenedores, IBC, <i>pallets</i> , etc.).	Véase la MTD n.º 57.	Véase la MTD n.º 57.
59.- Reutilización de bidones si están en buenas condiciones para ello. De no ser así se envían a unas instalaciones que los traten apropiadamente.	Véase la MTD n.º 57.	Véase la MTD n.º 57.
60.- Mantener un inventario de seguimiento de los residuos internos donde se registren la cantidad de residuos recibidos en las instalaciones y los datos sobre los residuos procesados. Véase además la MTD n.º 27.	Evitar las grandes acumulaciones de residuos, bidones y contenedores almacenados y la pérdida de la identificación de los mismos.	n. d.
61.- Posible reutilización de los residuos generados en ciertos procedimientos/ tratamientos como materia prima residual para otros. Véase además la MTD n.º 23.	Puede aumentar la eficiencia energética y reducir la producción de residuos, el consumo de agua y las emisiones hídricas de las instalaciones en su conjunto.	El coste general de los tratamientos suele disminuir.

3.3.4. Contaminación del suelo

Las siguientes técnicas se refieren a derrames de agua y otras emisiones fugitivas, así como al cierre definitivo. Algunas de ellas son:

- Habilitar y mantener en buen estado las superficies de las áreas operativas. Véase la MTD n.º 62 de la tabla 3.21.
- Disponer de una losa impermeable y de un sistema de drenaje interno. Véase la MTD n.º 63 de la tabla 3.21.
- Utilización de sistemas de drenaje y desagües independientes que permitan el aislamiento de determinadas zonas de las instalaciones donde se manipulen y agrupen los residuos para contener posibles derrames y proteger el drenaje de aguas superficiales de posibles contaminaciones. Puede contribuir a reducir las emisiones líquidas.

- Minimización de las instalaciones. Véase la MTD n.º 64 de la tabla 3.21.
- Llevar a cabo seguimientos periódicos de posibles fugas en los depósitos situados bajo la superficie (p. ej., comprobaciones del nivel del depósito durante periodos de inactividad).
- Diseño de las áreas a las que se transfieren los residuos peligrosos para el agua como muros de contención impermeables para que en caso de accidente pueda contenerse el líquido contaminante hasta que se pongan en marcha las medidas de seguridad.
- Equipar los contenedores utilizados para el almacenamiento/acumulación de materiales peligrosos para el agua con muros dobles o bien depósitos con muros de contención.
- Equipar los contenedores utilizados para el almacenamiento/acumulación de materiales peligrosos con controles de sobrellenado enlazados por medio de un relé de señal a la sala de control y habilitar señales acústicas y visuales.

Para evitar la contaminación del suelo se han identificado tres mejores técnicas disponibles (véase la tabla 3.21).

Tabla 3.21: MTD para la contaminación del suelo

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
62.- Habilitar y mantener en buen estado las superficies de las áreas operativas, con la aplicación, además, de medidas que eviten o contribuyan a limpiar rápidamente fugas y derrames; garantizar la realización del mantenimiento de los sistemas de drenaje y otras estructuras situadas bajo la superficie.	Puede ayudar a evitar contaminaciones a corto y largo plazo de las instalaciones. Minimizar el número de depósitos y canalizaciones subsuperficiales ayuda a facilitar las tareas de mantenimiento y las inspecciones.	n. d.
63.- Disponer de una losa impermeable y de un sistema de drenaje interno.	Evita accidentes y emisiones fugitivas. Véanse además las MTD n.º 43 y 62.	Véanse además las MTD n.º 43 y 62.
64.- Reducir las instalaciones y minimizar el uso de depósitos y canalizaciones subterráneos.	Véanse las MTD n.º 10, 25, 40 y 63.	Véanse las MTD n.º 10, 25, 40 y 63.

4. TÉCNICAS DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Estas técnicas se centran en la incineración controlada de residuos.

Las siguientes secciones se han clasificado según las categorías de técnicas establecidas en el BREF [3] y en cada una de ellas se resumen las principales MTD seleccionadas. La descripción de cada MTD incluye sus ventajas ambientales y una valoración económica. Además, se considera su aplicabilidad al sector de residuos peligrosos en la región mediterránea. En los casos en que se disponía de los datos necesarios, las MTD se han desarrollado detalladamente en subsecciones.

Aunque la incineración es, con diferencia, la técnica más aplicada, existen tres tipos principales de tratamiento térmico de residuos que afectan a esta sección:

- Pirólisis: degradación térmica de materia orgánica en ausencia de oxígeno.
- Gasificación: oxidación parcial.
- Incineración: combustión oxidativa completa.

La estructura lineal básica de una planta de incineración de residuos, también aplicable a los residuos peligrosos, puede incluir las operaciones siguientes:

- Recepción de residuos.
- Almacenaje de residuos y materias primas.
- Pretratamiento de los residuos (especialmente tratamientos *in situ* y operaciones de mezcla).
- Carga de residuos en el proceso.
- Tratamiento térmico (diseño de hornos, etc.).
- Recuperación energética (p. ej. opciones de alimentación de energía y calderas).
- Limpieza de los gases de combustión.
- Gestión de residuos de la limpieza de gases de combustión.
- Liberación de los gases de combustión.
- Seguimiento y control de las emisiones.
- Tratamiento y control de aguas residuales (p. ej. procedentes del drenaje del emplazamiento, tratamiento de gases de combustión o almacenaje).
- Gestión y tratamiento de cenizas y cenizas de horno (producidas en la etapa de combustión).
- Eliminación o vertido de residuos sólidos.

Las plantas de pirólisis y de gasificación tienen una estructura básica similar a las de incineración, aunque los detalles pueden diferir considerablemente.

4.1. TÉCNICAS GENERALES

Estas técnicas, prácticas y medidas se pueden aplicar a todas las instalaciones de incineración de residuos peligrosos, a causa de su carácter general. En particular, para los países mediterráneos que

planifican nuevas instalaciones de incineración, la selección del diseño más adecuado en cada caso se considera una etapa esencial. Las prácticas de gestión se pueden aplicar a plantas nuevas y a plantas ya existentes; la única restricción es la adaptación necesaria a las características de cada instalación particular.

En la tabla 4.1 se muestra la selección de las mejores técnicas disponibles (MTD). En las secciones siguientes se presenta una breve descripción de cada una de las técnicas consideradas MTD.

Tabla 4.1: MTD para técnicas generales en el sector de la incineración de residuos peligrosos

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>1.- Selección de un diseño de instalación adecuado a las características de los residuos que se reciben, mediante las técnicas siguientes:</p> <p>a) Adecuación del diseño del proceso.</p> <p>b) Características de las cámaras de combustión.</p>	<p>a) Existen tecnologías desarrolladas para cumplir con los requisitos específicos del tratamiento de residuos en flujos de residuos específicos.</p> <p>b) Permiten mejorar los resultados de la combustión, con emisiones menores a todos los entornos, así como reducir el consumo.</p>	<p>a) n. d.</p> <p>b) Las plantas nuevas se pueden optimizar al inicio; de esta forma los costes adicionales de estas mejoras pueden ser bajos. En plantas existentes los costes de rediseño son muy altos.</p>
<p>2.- Mantenimiento del emplazamiento en un estado ordenado y limpio.</p>	<p>La ordenación y limpieza generales contribuyen a crear un mejor entorno laboral y permiten identificar con antelación problemas potenciales de funcionamiento.</p>	<p>n. d.</p>
<p>3.- Mantenimiento de todo el equipo en buenas condiciones y realización de inspecciones de mantenimiento y mantenimiento preventivo para lograr la MTD n.º 2.</p>	<p>n. d.</p>	<p>n. d.</p>
<p>4.- Creación y mantenimiento de controles de calidad en la entrada de residuos, según los tipos de residuos que pueda recibir la instalación, mediante las técnicas siguientes:</p> <p>a) Establecimiento de límites de entrada en la instalación e identificación de riesgos clave.</p> <p>b) Comunicación con los proveedores de residuos para mejorar el control de calidad de los residuos entrantes.</p> <p>c) Control de la calidad de la alimentación de los residuos en el incinerador.</p>	<p>a) Esto asegura un funcionamiento estable y fluido del incinerador y reduce los requisitos de las intervenciones reactivas y de emergencia.</p> <p>b) Al evitar la recepción de residuos inadecuados o controlar la entrega de residuos de tratamiento difícil o de manipulación especial, se pueden reducir las dificultades operativas y, por tanto, evitar emisiones adicionales.</p> <p>c) Menores emisiones en los gases de combustión mediante operaciones de proceso fluidas, combustión efectiva, mayor recuperación energética,</p>	<p>a) No se pueden cuantificar con precisión.</p> <p>b) Los ahorros pueden aparecer al evitar dificultades operativas.</p> <p>c) n. d.</p> <p>d) Pueden representar una proporción significativa de los costes operativos en plantas de RP.</p> <p>e) La inversión para la instalación de detectores es de unos 25 000 – 50 000 EUR.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>d) Comprobación, muestreo y análisis de los residuos entrantes.</p> <p>e) Detectores para materiales radiactivos.</p>	<p>concentraciones de gases brutos más constantes y, en consecuencia, mejor funcionamiento de la planta de limpieza de gases de combustión y menor contaminación de la caldera gracias la reducción en las emisiones de polvo.</p> <p>d) Una mejor identificación de residuos, sustancias o propiedades inadecuadas puede reducir las dificultades operativas y, por tanto, evitar emisiones adicionales.</p> <p>e) Prevención de la contaminación de la planta y de la emisión de sustancias radiactivas.</p>	
<p>5.- Almacenaje de residuos a partir de una valoración de riesgos de sus propiedades, de forma que se minimice el riesgo de emisiones potencialmente contaminantes.</p>	<p>Los beneficios ambientales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del riesgo de emisiones con un almacenaje seguro. • Prevención de la penetración del agua de lluvia en los residuos almacenados. • Prevención de la dispersión por viento. • Posibilidad de gestionar las fugas. • Reducción de: producción de lixiviados, movimiento de contaminantes, deterioro de contenedores, expansión y contracción térmica de contenedores sellados y emisiones de olores. 	<p>n. d.</p>
<p>6.- Uso de técnicas y procedimientos para restringir y gestionar los tiempos de almacenaje de residuos, para reducir de forma general el riesgo de emisiones causadas por el almacenaje de residuos y el deterioro de los contenedores, así como para reducir las dificultades de procesamiento que pudieran surgir.</p>	<p>n. d.</p>	<p>n. d.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>7.- Minimización de la liberación de olores (y otras fugas potenciales) de las áreas de almacenaje de residuos a granel y de las áreas de pretratamiento llevando los gases extraídos al incinerador para su combustión.</p>	<p>Se consigue una reducción general de fugas, olores, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y riesgos sanitarios.</p>	<p>Costes adicionales de canalización para retroinstalaciones. La provisión de un sistema de seguridad para los periodos en que el incinerador no está disponible conlleva un coste adicional.</p>
<p>8.- Separación del almacenaje de residuos en función de una valoración de riesgos de sus características fisicoquímicas, lo que permite un almacenaje y procesamiento seguros.</p>	<p>La separación de residuos incompatibles reduce el riesgo de emisiones, ya que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • reduce los riesgos de accidentes; • permite una alimentación equilibrada de las sustancias. 	<p>n. d.</p>
<p>9.- Etiquetado claro de los residuos almacenados en contenedores, de forma que puedan identificarse en todo momento. Es aplicable a los residuos peligrosos.</p>	<p>Los beneficios son el conocimiento del contenido en residuos y el aumento de la capacidad del operador para identificar las fuentes de problemas y, consecuentemente, tomar las acciones necesarias para eliminarlos o controlarlos.</p>	<p>n. d.</p>
<p>10.- Desarrollo de un plan de prevención, detección y control del peligro de incendio en la instalación, especialmente para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • áreas de almacenaje de residuos y de pretratamiento; • áreas de carga de los hornos; • sistemas de control eléctrico; • filtros de mangas y de lecho estático. 	<p>Esta técnica reduce el riesgo de fugas accidentales provocadas por los incendios y de explosiones.</p>	<p>Costes de instalación y de mantenimiento. Costes del nitrógeno cuando se utiliza. La prevención de daños por incendio puede generar ahorros significativos. La instalación de medidas antiincendios puede hacer disminuir las primas de los seguros.</p>
<p>11.- Mezcla o pretratamiento adicional de residuos heterogéneos en la cantidad necesaria para cumplir con las especificaciones de diseño de la instalación receptora.</p>	<p>La combustibilidad de los residuos mejora al hacerlos más homogéneos, lo que reduce y estabiliza las emisiones de los hornos y conlleva una generación más constante de vapor o agua caliente en las calderas.</p>	<p>Los costes varían en función de la naturaleza de los residuos.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>12.- Uso de:</p> <p>a) la eliminación por precombustión de metales reciclables, o</p> <p>b) la separación de las cenizas de horno metálicas.</p> <p>La eliminación de metales reciclables férricos y no férricos se realiza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tras la incineración, a partir de los residuos de cenizas de horno, o • donde se Trituran los residuos, a partir de los ya triturados y antes de la etapa de incineración. 	<p>a) Recuperación de flujos metálicos reciclables, aumento de valor de metales que no se han oxidado parcialmente, reducción del contenido en metales volátiles de los gases de combustión, lo que implica una menor contaminación de los residuos de limpieza de los gases de combustión y una mejor calidad de las cenizas de horno mediante la reducción de su contenido metálico (fracción no volátil).</p> <p>b) Es necesario permitir el reciclaje de los diversos compuestos de las cenizas. Véase también la MTD n.º 52.</p>	<p>a) Costes de inversión y de funcionamiento asociados al uso de equipos de trituración y separación.</p> <p>b) Las fracciones metálicas se pueden vender a comerciantes de chatarra (0,01 - 0,05 EUR/kg para materiales ferrosos y 0,1 - 0,6 EUR/kg para los no ferrosos). Véase también la MTD n.º 52.</p>
<p>13.- Disponer de operadores con la capacidad de controlar visualmente (directamente o con pantallas de televisión o medios similares) las áreas de almacenaje y carga de residuos.</p>	n. d.	n. d.
<p>14.- Minimización de la entrada no controlada de aire en la cámara de combustión durante la carga de residuos o por otras vías.</p>	n. d.	n. d.
<p>55.- Implantación de medidas de reducción acústica para cumplir con los requisitos locales.</p>	n. d.	n. d.
<p>56.- Aplicación de la gestión ambiental.</p> <p>El objetivo y la naturaleza de los SGA normalmente están relacionados con la naturaleza, la escala y la complejidad de la instalación, así como con los posibles impactos ambientales que en ella se produzcan.</p>	<p>Habitualmente, los sistemas de gestión ambiental garantizan la mejora continua del rendimiento ambiental de la instalación. Cuanto peor sea el punto de partida, mayores serán las mejoras esperadas a corto plazo.</p>	<p>Es difícil determinar con precisión los costes y beneficios económicos de introducir y mantener un buen SGA.</p>
<p>69.- Controles de calidad adicionales en la IRP: uso de sistemas y procesos específicos; uso de un enfoque basado en el riesgo en función del origen de los residuos para el etiquetado, comprobación, muestreo y análisis de los residuos por almacenar o tratar. Los procedimientos analíticos deben estar gestionados</p>	<p>Una identificación avanzada de residuos, sustancias o propiedades inadecuadas puede reducir las dificultades operativas y, por tanto, evitar emisiones adicionales. El conocimiento del procesamiento o el origen de los residuos es importante, ya que es difícil determinar analíticamente determinadas características</p>	<p>El coste de aplicación de estas técnicas aumenta rápidamente con el alcance y la complejidad de los procedimientos adoptados. Los costes de muestreo, análisis, almacenaje y tiempo adicional de procesamiento necesarios pueden representar una</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>por personal con la calificación pertinente y mediante los procesos adecuados.</p> <p>Véase también la MTD n.º 4</p>	<p>peligrosas (por ejemplo, la toxicidad o la infecciosidad).</p>	<p>proporción significativa de los costes operativos en las plantas de residuos peligrosos, especialmente cuando se aplican los programas más extensos de muestreo y análisis.</p>
<p>70.- La combinación, la mezcla y el pretratamiento de los residuos para mejorar su homogeneidad, características de combustión y de quemado hasta un nivel adecuado con la preocupación debida por las cuestiones de seguridad. Si se realiza una trituración también se debe proteger con atmósfera inerte.</p> <p>Se pueden usar las técnicas siguientes:</p> <p>a) Trituración de residuos peligrosos empaquetados y en bidones.</p> <p>b) Pretratamiento y preparación dirigida de los residuos sólidos para su combustión.</p>	<p>a) El uso de una alimentación continua mejora el rendimiento de combustión y reduce los picos de CO y COV, aumenta la recuperación de calor gracias a un flujo estable de gas en las calderas, estabiliza las condiciones de funcionamiento de los equipos de limpieza de los gases de combustión, evita explosiones en el horno y reduce el tiempo de inactividad por daños refractarios, etc.</p> <p>b) Combustión mejorada mediante una homogenización de los residuos. Reducción en las cargas contaminantes en las fluctuaciones del valor calorífico y en el consumo y las emisiones gracias a un funcionamiento más constante. La mezcla intensiva de residuos antes de su entrada en el tanque puede mejorar las cualidades del combustible.</p>	<p>a) Ejemplo: el reciclaje de acero empaquetado procedente de una planta de 35 t/d¹⁶ produjo unos ingresos adicionales de 35 000 EUR/año. El número de operarios necesarios para manipular los paquetes se redujo de 6 a 3. Se informó de que los costes de construcción de dos líneas fueron: 35 t/d línea de líquidos envasados = 2,9 millones de EUR y 75 t/d línea sólida a granel y en paquetes = 5,4 millones de EUR.</p> <p>b) El coste de separar residuos mezclados puede ser significativo.</p>
<p>71.- Uso de un sistema de eualización de la alimentación para residuos peligrosos sólidos para mejorar las características de combustión de los residuos alimentados y la estabilidad de la composición de los gases de combustión, también a través de un mejor control de las emisiones pico de CO a corto plazo.</p>	<p>La alimentación continua de RP sólidos mejora el control de la alimentación y reduce los picos de CO.</p> <p>Uso óptimo de la capacidad de incineración del horno rotatorio para RP sólidos de baja capacidad calorífica.</p> <p>Se forma un flujo homogéneo de cenizas de horno fundidas.</p> <p>Se mejora la seguridad frente a incendios en el área del tanque de RP mediante el uso de equipos automáticos antiincendios.</p>	<p>n. d.</p>

¹⁶ t/d: toneladas/día

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
	La instalación de equipos de vigilancia por vídeo permite la observación continua de la alimentación de residuos.	
72.- Inyección directa de residuos peligrosos líquidos y gaseosos cuando requieran una reducción específica de los riesgos de exposición, emisiones u olores.	Prevención de emisiones de aire difusas gracias a que la alimentación de residuos se realiza en un sistema completamente cerrado.	La inversión media para una línea especializada alcanza los 100 000 - 200 000 EUR.

4.1.1. Adecuación del diseño del proceso a los residuos recibidos

Una de las decisiones más importantes que debe tomar el operador es la relacionada con la selección de una etapa de combustión (o tratamiento térmico) que sea técnicamente adecuada para el material que se introducirá en el proceso.

En general, la elección de una técnica de tratamiento térmico debe tomar en consideración los siguientes criterios técnicos (véase también la MTD 1 en la tabla 4.1):

- Composición y variabilidad química de los residuos, p. ej. las técnicas diseñadas para tratar una estrecha gama de residuos específicos funcionan en un intervalo más estrecho de límites de rendimiento.
- Composición física de los residuos, p. ej. tamaño y variabilidad de las partículas.
- Características térmicas de los residuos, p. ej. la capacidad calorífica, humedad, etc.
- Producción y disponibilidad del proceso necesarias.
- Calidad y composición necesaria de las cenizas de horno y otros restos.
- Posibilidades de uso de los productos de la oxidación parcial, como el gas sintético o el coque.
- Objetivos de los valores de emisión y del sistema de reducción escogido.
- Tipo de recuperación energética, p. ej. calor, energía eléctrica, cogeneración (CEC).

En la práctica, es posible que muchos incineradores de residuos sólo tengan un control limitado del contenido preciso de los residuos que reciben. Los operadores que reciben tales residuos deben diseñar sus procesos de forma que sean lo bastante flexibles para asumir la gama de residuos recibidos que pueden introducirse en el proceso.

4.1.2. Buenas prácticas generales

La ordenación y limpieza generales contribuyen a crear un mejor entorno laboral y permiten identificar con antelación problemas potenciales de funcionamiento. Estas técnicas se pueden aplicar a todas las instalaciones y en todos los sectores. Esto es especialmente importante para los residuos peligrosos, a pesar de su propia peligrosidad.

Los elementos principales de una buenas prácticas son:

- El uso de sistemas para identificar y localizar o almacenar los residuos recibidos en función de sus riesgos.
- La prevención de emisiones de polvo de los equipos en funcionamiento.
- Una gestión efectiva de las aguas residuales.

- Un mantenimiento preventivo eficaz.

En la tabla 4.1 se pueden consultar las mejores técnicas disponibles según estos criterios, especialmente en los números 2 y 3.

4.1.3. Técnicas de pretratamiento, almacenaje y manipulación para residuos peligrosos

Diferentes tipos de residuos necesitan diferentes tipos de operaciones de pretratamiento, almacenaje y manipulación antes de la incineración. En este informe sólo se estudian los residuos peligrosos.

Por lo que respecta a los residuos peligrosos, son posibles dos tipos de planta: plantas de incineración para uso comercial y plantas de incineración para uso exclusivo o privado. Sus principales diferencias se resumen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Resumen de diferencias entre operadores en el mercado de incineración de residuos peligrosos

Crterios	Plantas para uso comercial	Plantas para uso exclusivo o privado
Propiedad	Empresas privadas, municipales o sociedades.	Habitualmente empresas privadas (utilizadas para sus propios residuos).
Características de los residuos tratados	Gama muy amplia de residuos. En algunos casos el conocimiento de la composición exacta de los residuos puede ser limitado.	Amplia gama de residuos. A menudo sólo residuos procedentes de una empresa o incluso de un solo proceso. En general, mayor conocimiento de la composición de los residuos.
Tecnologías de combustión aplicadas	Predominantemente hornos rotatorios. Algunas tecnologías especializadas para residuos especializados o restringidos.	Hornos rotatorios. Gran variedad de técnicas específicas para residuos especializados o restringidos.
Consideraciones operativas y de diseño	Necesitan flexibilidad y un gran intervalo de rendimientos para garantizar un buen control del proceso.	En algunos casos el proceso puede diseñarse más ajustadamente para unas especificaciones más exhaustivas de la alimentación.
Tratamiento de los gases de combustión (TGC)	A menudo se aplica un lavado húmedo para conseguir un rendimiento flexible, combinado con una amplia gama de técnicas de TGC.	A menudo se aplica un lavado húmedo para conseguir un rendimiento flexible, combinado con una amplia gama de técnicas de TGC.
Consideraciones económicas y comerciales	Los operadores acostumbran a competir en un mercado empresarial abierto. Algunas plantas se benefician de políticas nacionales o regionales sobre el destino de los residuos producidos en ese país o región. El traslado de residuos peligrosos en la UE está regulado por las Regulaciones de Envíos Transfronterizos, que limitan el alcance de un mercado mundial abierto.	Competencia más reducida o, en algunos casos, inexistente. En algunos casos los usuarios toleran mayores costes de eliminación a causa de las políticas de los productores de residuos sobre la eliminación doméstica.

Para facilitar su comprensión, esta sección se divide en cuatro subsecciones: aceptación de residuos, almacenaje, alimentación y pretratamiento, y transferencia y carga de residuos.

4.1.3.1. Aceptación de residuos

Se necesita un esfuerzo considerable para valorar, calificar y dar seguimiento a los residuos entrantes, a causa de la gran variedad de tipos, su elevado peligro potencial y la gran incertidumbre sobre su composición exacta.

Los procedimientos exactos para la aceptación y almacenaje de residuos dependen de sus características fisicoquímicas.

Para cada tipo de residuo peligroso el generador del residuo presenta una declaración de la naturaleza de los residuos producidos, de forma que el gestor de residuos pueda decidir si es posible el tratamiento de cada tipo específico. Cuando es imposible describir detalladamente la composición de los residuos (p. ej. pequeñas cantidades de plaguicidas), la empresa de gestión de residuos puede acordar con el generador condiciones especiales de empaquetamiento, garantizando que los residuos no reaccionen durante el transporte, cuando se acepta para su incineración o dentro de los contenedores.

También es importante determinar las limitaciones de la instalación por lo que respecta a las características de los residuos que puede aceptar el incinerador. Conociendo las limitaciones del proceso de incineración es posible elaborar especificaciones de entrada que subrayen las velocidades de entrada en el sistema máximas y aconsejables. De esta forma es posible identificar riesgos clave (como, por ejemplo, entradas excesivas de mercurio, yodo o bromuros, lo que llevaría a grandes concentraciones de gases de combustión brutos, cargas elevadas de sulfuros que sobrepasen la capacidad del TGC, etc.) y establecer el control de proceso necesario para evitar o reducir el funcionamiento fuera de estos límites.

Cuando es imposible tratar los residuos recibidos, porque podría causar problemas operativos, el interés del operador por las personas que generan y suministran los residuos puede ayudar en la cadena global de gestión de residuos.

La comprobación, el muestreo y el análisis de los residuos entrantes implican el uso de un programa adecuado para su valoración. Las valoraciones realizadas se seleccionan para garantizar que los residuos recibidos se hallen dentro de los límites adecuados de la instalación y para decidir si se necesita un almacenaje, manipulación, tratamiento o eliminación especial para el traslado fuera de la instalación, y si los residuos son tal y como los ha descrito el proveedor, por cuestiones contractuales, operativas o legales.

Las técnicas varían desde una valoración visual simple hasta un análisis químico completo (y pruebas para detectar materiales radiactivos): naturaleza y composición de los residuos, heterogeneidad, dificultades conocidas, etc.

A priori, estas técnicas se pueden aplicar en todas las plantas de incineración de residuos (incluyendo la región mediterránea), especialmente las que reciben residuos peligrosos. La aplicabilidad específica de las MTD asociadas a esta subsección (véase la tabla 4.1, números 4, 14, 96.1, 69 y 70) es:

- Controles de calidad:
 - a) Entradas en la instalación: esto es aplicable a todas las plantas de incineración de residuos, especialmente las que reciben residuos de diversas fuentes y de especificaciones diversas o de control difícil (**p. ej. plantas de residuos peligrosos comerciales**).
 - b) Comunicación con los proveedores de residuos: puede aplicarse a todas las plantas de incineración de residuos, especialmente las que reciben residuos de diversas fuentes y de especificaciones diversas o de control difícil.
 - c) Control de calidad de la alimentación de residuos: todas las instalaciones tienen que producir su propio conjunto de límites de entrada de los procesos clave y luego adoptar restricciones de recepción adecuadas, así como un posible pretratamiento para garantizar que no se superan tales límites. Esto es especialmente necesario para los **residuos peligrosos**.
 - d) Comprobación, muestreo y análisis de los residuos entrantes: son adecuados cuando la composición y las fuentes de los residuos son diversas (**p. ej. plantas de RP comerciales**) o allí donde se sabe que existen dificultades.
 - e) Detectores para materiales radiactivos: son aplicables para las plantas de incineración en las que se reciben residuos heterogéneos de muchos proveedores diferentes.

- Controles de calidad adicionales para la incineración de residuos peligrosos: los programas de muestreo y análisis más extensivos son adecuados en aquellos casos en que la composición y origen de los residuos es más diversa (p. ej. plantas de residuos peligrosos comerciales) o en que existen dificultades ya conocidas.
- Controles de calidad adicionales: los programas de muestreo y análisis más extensivos son adecuados en aquellos casos en que la composición y origen de los residuos es más diversa (p. ej. plantas de residuos peligrosos comerciales) o en que existen dificultades ya conocidas.
- Combinación, mezcla, y pretratamiento de residuos para mejorar su homogeneidad:
 - a) Trituración de RP empaquetados y en bidones: es aplicable para incineradores que reciben residuos peligrosos empaquetados.
 - b) Pretratamiento y preparación dirigida de residuos sólidos para combustión: se aplica principalmente a residuos que pueden entregarse en diversas fracciones o que se pueden tratar de forma efectiva para separar las fracciones necesarias.
 - c) Esta técnica puede ser especialmente aplicable en diseños que presenten unas especificaciones de entrada restringidas; p. ej. los lechos fluidificados.
 - d) Las ventajas de aplicar esta técnica pueden resultar más limitadas en una instalación ya diseñada para «cremación a granel»; p. ej. parrillas y hornos rotatorios.
- Uso de un sistema de ecualización de la alimentación para residuos peligrosos sólidos: es aplicable a incineradores de residuos peligrosos que reciben residuos sólidos heterogéneos.

4.1.3.2. Almacenaje

En general, el almacenaje de residuos también necesita tener en cuenta la naturaleza y composición desconocidas de los residuos, a causa de los riesgos e incertidumbres adicionales que ello conlleva.

El almacenaje de residuos en áreas con superficies selladas y resistentes, y con un drenaje controlado evita la emisión de sustancias directamente procedentes de los residuos o bien de lixiviados formados por los residuos. Las técnicas usadas difieren en función del tipo de residuo, de su composición y de la vulnerabilidad o riesgo asociados a la emisión de sustancias procedentes de los residuos. En general, son adecuadas las siguientes técnicas de almacenaje:

- Materiales olorosos almacenados en el interior con sistemas de aireación controlados que usen el aire expulsado como aire de combustión.
- Áreas específicas para carga y descarga con drenaje controlado.
- Áreas claramente indicadas para el drenaje de zonas potenciales de contaminación.
- Limitación de los tiempos de almacenaje en función del tipo de residuo y de sus riesgos.
- Capacidad de almacenaje adecuada.
- Es posible el almacenaje temporal de determinados residuos en balas o contenedores, según los factores de riesgo de dichos residuos y de su ubicación específica.
- Medidas antiincendios.

Las recomendaciones específicas para residuos peligrosos son:

- Almacenaje separado en función de una valoración de riesgos.
- Atención especial al tiempo de almacenaje.
- Dispositivos automáticos de carga y manipulación.
- Instalaciones de limpieza para superficies y contenedores.

Una correcta valoración de los residuos es un elemento fundamental en la selección de las opciones de carga y almacenaje. Algunas cuestiones a tener en cuenta son:

- Para el almacenaje de **residuos peligrosos sólidos** muchos incineradores disponen de un tanque (de 500 a 2000 m³) desde el que se introducen los residuos en la instalación mediante grúas o tolvas de alimentación.
- **Residuos peligrosos líquidos y lodos:** se suelen almacenar en bodegas. Algunas disponen de almacenaje en atmósfera inerte (p. ej. de N₂). Los residuos líquidos se bombean a través de tuberías hacia los quemadores y se introducen en los hornos rotatorios o en las cámaras de postcombustión (CPC). Los lodos pueden introducirse en los hornos rotatorios mediante bombas especiales para materiales viscosos.
- En algunos incineradores pueden introducirse determinadas sustancias, como líquidos tóxicos, olorosos, reactivos y corrosivos, directamente desde el contenedor de transporte al horno o la CPC mediante un dispositivo de **inyección directa**.
- Algunos incineradores para uso comercial, especialmente en Europa, están equipados con transportadores y elevadores para desplazar e introducir bidones o pequeños paquetes directamente en el horno rotatorio.

A continuación se muestra la aplicabilidad específica de las MTD asociadas (véase la tabla 4.1, números 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 72):

- Minimización de las emisiones de olores: se puede aplicar a todos los incineradores en los que exista un riesgo de emisión de olores u otras sustancias desde las áreas de almacenaje. Las plantas que almacenan disolventes volátiles pueden reducir considerablemente sus emisiones de COV gracias a esta técnica.
- Separación del almacenaje de residuos: es aplicable en aquellos casos en que los residuos ya se han recogido y entregado, de forma que no se necesita ninguna separación adicional.
- Etiquetado claro: es aplicable, principalmente, a las plantas de **residuos peligrosos, residuos clínicos u otras situaciones** en que los residuos se almacenan en contenedores y tienen composiciones diversas o diferenciadas.
- Desarrollo de un plan de prevención: aplicable en todas las instalaciones.
- Inyección directa de residuos líquidos y peligrosos: esta técnica es aplicable a los residuos peligrosos líquidos, especialmente residuos que conlleven riesgos sanitarios y de seguridad en su manipulación y que, por tanto, requieran una exposición mínima de los trabajadores.

4.1.3.3. Alimentación y pretratamiento

Para ayudar a controlar la calidad de la alimentación de residuos y, por tanto, estabilizar el proceso de combustión y mantenerlo dentro de los parámetros de diseño, se pueden elaborar un conjunto de requisitos de calidad para los residuos que se van a introducir en la cámara de combustión. Los requisitos de calidad de los residuos se pueden obtener a partir de una comprensión de las limitaciones operativas del proceso, como por ejemplo:

- Capacidad térmica total del incinerador.
- Requisitos físicos del proceso de alimentación (tamaño de las partículas).
- Control utilizado para el proceso de incineración.
- Capacidad del sistema de tratamiento de gases de combustión y las concentraciones o velocidades máximas de entrada del gas sin procesar.
- Los valores límite de emisión que deben cumplirse.
- Requisitos de calidad de las cenizas de horno.

El ecualizador de alimentación consiste en dos transportadores de tornillo que pueden triturar y alimentar residuos sólidos y una tolva de alimentación adaptada para recibir diversos tipos de residuos.

La separación de metales se puede lograr con el uso de:

- Separadores magnéticos de banda superior (*overband*) para materiales ferrosos voluminosos, como bidones triturados.
- Separadores magnéticos de tambor para piezas ferrosas pequeñas y pesadas, como pilas, clavos, monedas, etc.
- Separadores de corrientes turbillonarias para materiales no ferrosos (especialmente el cobre y el aluminio usados en envases y componentes eléctricos).

Puede ser necesario lavar los metales extraídos para eliminar la contaminación de los residuos con los que han estado en contacto. La necesidad de este proceso dependerá del tipo de contaminación, el almacenaje posterior, el transporte y los requisitos del proceso de reciclaje.

Algunos incineradores disponen de instalaciones de homogeneización especializadas e integradas, para el pretratamiento de los residuos. Estas instalaciones contienen:

- Un triturador para sólidos voluminosos.
- Un triturador exclusivo para bidones.
- Un triturador combinado con un mezclador mecánico.

A causa de la gran variedad de especificaciones fisicoquímicas de algunos residuos peligrosos, pueden surgir dificultades en el proceso de incineración. Por ello, a menudo se realiza algún tipo de mezcla o pretratamiento específico de los residuos, para lograr unas cargas más uniformes. También es necesario elaborar criterios de aceptación para cada instalación.

Según la composición de los residuos y las características de la planta de incineración, además de la disponibilidad de otros medios de tratamiento de cualquier tipo de residuo generado, también se pueden realizar otros pretratamientos (por ejemplo, neutralización, drenaje de lodos y solidificación de lodos con aglutinantes).

Las técnicas utilizadas para la mezcla y el pretratamiento de residuos son muy diversas y pueden incluir:

- La mezcla de residuos peligrosos líquidos para cumplir con los requisitos de entrada de la instalación.
- La trituración, el machacado y el cizallamiento de los residuos empaquetados y los residuos combustibles voluminosos.
- La mezcla de residuos en un tanque mediante una cuchara u otro tipo de máquina.

Se puede realizar un pretratamiento de residuos líquidos empaquetados y de residuos sólidos empaquetados o a granel para generar una mezcla que permita la alimentación continua del horno. Los residuos adecuados pueden tratarse para obtener una sustancia que se pueda bombear a inyección en el horno o bien triturarse para añadirse al quemador de almacenaje, donde se separan líquidos y sólidos y posteriormente se introducen en el horno por separado, mediante cucharas y bombas, respectivamente. El principio general de aumentar la homogeneidad mediante una preparación adecuada de los residuos puede aplicarse a todos los incineradores en que se observen variaciones significativas de los parámetros de los gases no tratados tras la combustión.

La aplicabilidad específica de algunas MTD asociadas a esta subsección (véase la tabla 4.1, números 11, 12 y 58) es la siguiente:

- Mezcla o pretratamiento adicional: esta técnica se puede aplicar en todas las plantas que reciben residuos sólidos heterogéneos (**p. ej. sólidos peligrosos empaquetados**). Es más probable que el pretratamiento sea un requisito cuando la instalación esté diseñada para residuos homogéneos y con especificaciones restrictivas.
- Uso de la extracción precombustión y separación de cenizas de horno:

- a) Separación de cenizas de horno: la separación magnética de materiales ferrosos es aplicable en todas las instalaciones nuevas y existentes.
 - b) La separación de materiales no ferrosos necesita espacio y una capacidad suficiente, y puede llevarse a cabo en una instalación externa de procesamiento de cenizas de horno. **En algunas plantas de RP, los bidones triturados se extraen mediante imanes antes de la combustión.**
- Combinación, mezcla y pretratamiento:
 - a) Trituración del residuo empaquetado o en bidones: es aplicable a incineradores que reciben residuos peligrosos empaquetados.
 - b) Pretratamiento y preparación dirigida: se puede aplicar básicamente a residuos que pueden entregarse en diversas fracciones o que se pueden tratar de forma eficiente para separar las fracciones necesarias. Esta técnica puede ser especialmente aplicable en diseños que presenten unas especificaciones de entrada restringidas; p. ej. los lechos fluidificados. Las ventajas de aplicar esta técnica pueden resultar más limitadas en una instalación ya diseñada para «cremación a granel»; p. ej. parrillas y hornos rotatorios.

4.1.3.4. Transferencia y carga de los residuos

Los operadores de sistemas de alimentación de residuos deben tener una buena visión de las áreas de almacenaje y carga de residuos así como los medios para controlarlas. Ello se puede lograr situando la sala de control de forma que se tenga una visión clara de las áreas de carga de la cámara de combustión y utilizando pantallas de vídeo y otros sistemas de detección. La primera opción es la preferible, a no ser que existan razones de seguridad o técnicas por las cuales resulte imposible.

Los residuos líquidos, pastosos y gaseosos pueden introducirse directamente en los hornos rotatorios a través de varias líneas de alimentación directa. En general, la operación de inyección directa se realiza conectando el contenedor de residuos y la línea de alimentación y presurizando el contenedor con nitrógeno o, en caso de viscosidad baja, vaciando el contenedor con las bombas adecuadas.

El uso de sistemas que evitan la entrada de aire en la cámara de combustión ayuda a mantener la estabilidad del proceso y a reducir las emisiones. Estos sistemas son:

- Mantener un silo lleno para los residuos sólidos.
- Uso de alimentadores de tornillo sellados.
- Uso de puertas dobles con bloqueo para la carga por lotes.
- Uso de inyección directa mediante bombeo de residuos líquidos y pastosos.

La aplicabilidad específica de las MTD asociadas (véanse las MTD 13 y 71 en la tabla 4.1) es la siguiente:

- Uso de separador de cenizas de horno: la separación magnética de materiales ferrosos es aplicable en todas las instalaciones nuevas y existentes. La separación de materiales no ferrosos necesita espacio y una capacidad suficiente y la puede realizar una instalación externa de procesamiento de cenizas de horno. **En algunas plantas de RP los bidones triturados se extraen mediante imanes antes de la combustión.**
- Inyección directa de residuos líquidos y peligrosos: esta técnica es aplicable a los residuos peligrosos líquidos, especialmente residuos cuya manipulación conlleve riesgos sanitarios y de seguridad y que, por tanto, requieran una exposición mínima de los trabajadores.

4.1.4. Técnicas de pretratamiento, almacenaje y manipulación para lodos de alcantarillado

La composición de los lodos de alcantarillado es muy variada. Los factores especialmente importantes a tener en cuenta al incinerar este tipo de residuos son:

- El contenido en materia sólida total, que varía entre el 10 y el 45 %.
- Si el lodo ha sido digerido o no.
- La cal, las calizas y otros elementos de acondicionamiento del lodo.
- La composición del lodo en primario, secundario, biofango, etc.
- Los problemas de olores, especialmente durante la introducción del lodo en el recinto de almacenaje.

En las siguientes subsecciones se presentan los procesos de pretratamiento del lodo de alcantarillado: deshidratación física, secado y digestión del lodo.

4.1.4.1. Deshidratación hídrica

Un drenaje mecánico antes de la incineración reduce el volumen de la mezcla de lodos gracias a la reducción en el contenido de agua, lo que aumenta el valor calorífico asociado al proceso. Mediante el drenaje mecánico del lodo de alcantarillado en decantadores, centrifugas, filtros de bandas y filtros de cámaras, se puede lograr un contenido en materia sólida total (MS) entre el 10 y el 45 %.

4.1.4.2. Secado

A menudo, una sustancia que ya se ha secado por drenaje mecánico aún no está lo suficientemente seca como para la autoincineración térmica. En este caso se puede usar una planta de secado térmico para un proceso de secado adicional antes de la introducción en el horno; en el proceso el volumen del lodo de alcantarillado se reduce aún más y su valor calorífico aumenta (véanse las MTD 75 y 76 en la tabla 4.1).

4.1.4.3. Digestión del lodo

La digestión del lodo reduce su contenido en materia orgánica y produce biogás (por lo menos en el caso de la digestión anaeróbica). En general, el lodo digerido se puede deshidratar más fácilmente que el no digerido, lo que permite obtener un contenido en materia sólida ligeramente mayor tras la deshidratación mecánica.

La tabla 4.3 muestra la selección de las mejores técnicas disponibles asociadas a la incineración de lodos de alcantarillado.

Tabla 4.3: MTD para incineración de lodos de alcantarillado.

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
76.- El uso de la tecnología de lecho fluidificado en instalaciones puede ser, en general, una MTD gracias a la mayor eficiencia de combustión y al menor volumen de gases de combustión generados por tales sistemas.	n. d.	n. d.
77.- El secado de los lodos de alcantarillado, preferiblemente con calor recuperado de la incineración y de forma que, en general, no se necesiten combustibles adicionales para la combustión en el funcionamiento normal de la instalación, se considera una MTD.	n. d.	n. d.

4.2. ETAPA DE TRATAMIENTO TÉRMICO

El tratamiento térmico es un proceso mediante el cual se aplica calor a los residuos para reducir su volumen antes de la eliminación final.

Para diferentes clases de residuos se aplican diferentes tipos de tratamiento térmico, ya que no todos los tratamientos son adecuados para todos los residuos. Las tecnologías de incineración, explicadas en detalle en la sección 4.2.1, son las siguientes:

- Incineradores de parrilla.
- Hornos rotatorios.
- Lechos fluidificados.
- Sistemas de pirólisis y gasificación.

Incineración de lodos de alcantarillado: se realiza en hornos rotatorios, incineradores de múltiples soleras o incineradores de lecho fluidificado. También se aplica la combustión conjunta en sistemas de lecho fijo, en plantas de combustión de carbón y en procesos industriales.

Incineración de residuos peligrosos y médicos: el sistema más habitual es el horno rotatorio, aunque para los residuos sólidos también se usan incineradores de parrilla (incluyendo quemado conjunto con otros residuos) y para algunos materiales pretratados también se usan incineradores de lecho fluidificado. Los hornos estáticos se aplican ampliamente en instalaciones *in situ* de plantas químicas.

Otros procesos: se han desarrollado otras técnicas basadas en el desacoplamiento de las fases que también se produce en el incinerador: secado, volatilización, pirólisis, carbonización y oxidación de los residuos. También se aplica la gasificación con agentes gasificantes, como vapor, aire, óxidos de carbono u oxígeno. Estos procesos intentan reducir el volumen de gases de combustión y los costes de tratamiento asociados. Algunos de estos desarrollos se enfrentan a problemas tecnológicos y económicos cuando se aplican a gran escala en industrias comerciales y, por tanto, ya no se usan.

La tabla 4.4 muestra la selección de las mejores técnicas disponibles asociadas con los procesos de tratamiento térmico. Estas técnicas constituyen una selección de entre todas las desarrolladas a lo largo de la sección. En cada subsección específica se puede hallar una descripción concisa de cada una de ellas. También se valora su aplicabilidad al sector de residuos peligrosos y a la región mediterránea.

Tabla 4.4: MTD para procesos de tratamiento térmico

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>15.- Uso de modelos de flujo que puedan contribuir a proporcionar información cuando exista preocupación sobre el rendimiento de la combustión o del TGC, así como sobre la optimización de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la geometría del horno y la caldera; • la inyección de aire de combustión; • los puntos de inyección de reactivos cuando se usen RCS o RNCS. 	<p>Puede mejorar el rendimiento de la combustión y, por tanto, limitar la formación de CO, COT, PCDD/F y NO_x. No hay efecto sobre otros contaminantes presentes en los residuos.</p> <p>La reducción de la contaminación debido a velocidades excesivas de los gases de combustión gracias al uso de modelos de dinámica de fluidos computacional (DFC), puede hacer aumentar la disponibilidad de las plantas y mejorar la recuperación energética a lo largo del tiempo. Mejoras en el rendimiento de los equipos de reducción.</p>	<p>Habitualmente, un estudio de optimización informática cuesta entre 10 000 y 30 000 EUR, según su alcance y el número de ensayos de modelización necesarios.</p>
<p>16.- Adopción de programas operativos y aplicación de procedimientos para reducir las emisiones globales.</p>	<p>El funcionamiento consistente de la planta mejora la eficiencia energética.</p>	<p>Al evitar las paradas, se pueden reducir los costes en las instalaciones de incineración, ya que permite una producción continua y, por lo tanto, un mayor uso de la instalación.</p>
<p>17.- Identificación de un método de control de la combustión y uso de criterios clave de combustión y de un sistema de control para vigilar y mantener estos criterios dentro de los límites adecuados, con el objetivo de mantener la efectividad del rendimiento de combustión. Las técnicas que deben tenerse en cuenta son:</p> <p>a) Selección y uso de sistemas de control y parámetros adecuados.</p> <p>b) Uso de cámaras infrarrojas para la vigilancia y el control de la combustión.</p>	<p>a) El proceso de incineración tiene menos variación temporal (mayor estabilidad) y espacial (mayor homogeneidad), lo que permite una mejora global del rendimiento de la combustión y una reducción de las emisiones a todos los medios.</p> <p>b) Mejora global del rendimiento de la combustión y una reducción de las emisiones a todos los medios.</p>	<p>a) Las ventajas también implican un menor mantenimiento y, por tanto, una mayor disponibilidad de la planta.</p> <p>b) El coste estimado de una cámara es de 50 000 EUR.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>18.- Optimización y control de las condiciones de la combustión mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el control del suministro, distribución y temperatura del aire, incluida la mezcla de gas y oxidante, • la temperatura y distribución de la combustión, • el tiempo de residencia del gas sin tratar. <p>Las técnicas que pueden usarse son:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Optimización de la estequiometría del suministro de aire. b) Optimización y distribución del suministro de aire primario. c) Inyección, optimización y distribución del aire secundario. d) Optimización del tiempo, temperatura y turbulencia de los gases en la zona de combustión, así como de las concentraciones de oxígeno. e) Diseño que aumente la turbulencia en la cámara de combustión secundaria (CCS). 	<ol style="list-style-type: none"> a) Los objetivos de la optimización son la reducción del volumen de los gases de combustión (y, por tanto, de los requisitos de tratamiento) y un quemado efectivo del gas. b) Optimización de la etapa de combustión del proceso de incineración y reducción de las emisiones globales. c) Los beneficios son la reducción de la cantidad de sustancias asociadas a la combustión (p. ej. NO_x, CO y COV). Las concentraciones de CO y COV no se tratan en el TGC. d) Reduce la producción de NO_x y, en consecuencia, los requisitos de tratamiento y las emisiones; reduce también el volumen de los gases de combustión y mejora la eficiencia energética. e) Mejora la combustión y obtiene menores concentraciones de los parámetros asociados a la combustión en el gas sin tratar. Puede reducir el volumen de aire secundario necesario y, por tanto, reducir el volumen global de gases de combustión y la producción de NO_x. 	<ol style="list-style-type: none"> a) n. d. b) Siempre que el diseño inicial sea correcto y contenga sistemas y equipos para el control del aire primario, no se suelen necesitar inversiones ni equipos adicionales. c) Los costes varían en función de las características particulares del diseño. d) n. d. e) n. d.
<p>19.- En general, es MTD utilizar las condiciones operativas (temperaturas, tiempos de residencia y turbulencia) especificadas en el artículo 6 de la Directiva 2000/76/CE. El uso de otras condiciones operativas también puede ser MTD.</p>	<p>Si se incineran residuos peligrosos con un contenido superior al 1 % de sustancias orgánicas halogenadas, en forma de cloro, la temperatura debe aumentarse a 1100 °C durante dos segundos como mínimo.</p>	<p>n. d.</p>
<p>21.- Uso de quemadores auxiliares para el arranque y la parada, así como para mantener las temperaturas de combustión necesarias en todo momento cuando hay residuos sin quemar en la cámara de combustión.</p>	<p>Al garantizar que las temperaturas de incineración son correctas mediante el uso de quemadores automatizados se asegura la correcta combustión de los gases producidos, lo que reduce las concentraciones de gases sin tratar de los productos de combustión incompleta (PCI) en la salida del horno y, por tanto, las emisiones a todos los medios.</p>	<p>Los costes de reequipamiento pueden ser significativos debido a las dificultades en situar los quemadores. Los costes serán considerablemente superiores para procesos por lotes.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>22.- Uso de una combinación de aislamiento y extracción de calor cerca del horno que, según el valor calorífico neto (VCN) y la corrosividad de los residuos incinerados, ofrezca una correcta retención de calor en el horno y permita transferir calor adicional para la recuperación energética.</p> <p>Las técnicas que se pueden usar son:</p> <p>a) Protección de las paredes de membrana del horno y el primer paso de la caldera con materiales refractarios o de otro tipo.</p> <p>b) Uso de un horno-caldera integrado.</p>	<p>a) La mayor disponibilidad de la planta significa que se reducen los riesgos de emisiones adicionales asociados con el encendido y la parada. También reduce la necesidad de añadir combustibles de soporte para disminuir los residuos de BVC. El uso de paredes refrigeradas con aire o agua permite recuperar el calor, reducir la temperatura del gas y reducir la adición de aire secundario.</p> <p>b) Mejora la recuperación de calor al reducir las pérdidas por radiación en la salida del horno, permite la instalación de sistemas de extracción de NO_x por RNCS y reduce los requisitos de aire adicional y, por tanto, el volumen de los gases de combustión.</p>	<p>a) El cambio de configuración del horno en plantas existentes puede resultar impracticable debido a sus elevados costes.</p> <p>b) Esta opción es menos cara que una caldera independiente para plantas con hornos de capacidad superior a los muy pequeños (es decir, 1 ó 2 t/h).</p>
<p>23.- Uso de hornos cuyas dimensiones sean lo bastante grandes para ofrecer una combinación efectiva de tiempo de residencia del gas y temperatura, de forma que las reacciones de combustión sean casi completas y den como resultado unas emisiones de CO y COV bajas y estables.</p>	<p>Permite reducir las emisiones de sustancias orgánicas procedentes de la etapa de combustión. También mejora el intercambio de calor en las calderas, gracias a la reducción de los depósitos en las tuberías de la caldera. Todo ello puede conllevar una mejor recuperación energética.</p>	<p>La construcción de hornos grandes es más costosa.</p>
<p>24.- Cuando se usa gasificación o pirólisis, para evitar la generación de residuos, se considera una MTD combinar la etapa de gasificación o de pirólisis con una etapa subsiguiente de combustión, con recuperación energética y tratamiento de los gases de combustión que mantenga los valores de emisión a la atmósfera operativos; o bien, recuperar o suministrar para su uso las sustancias no combustionadas.</p>	<p>n. d.</p>	<p>n. d.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>25.- Uso de un diseño de caldera que permita reducir suficientemente la temperatura del gas antes de los serpentines de intercambio de calor por convección para evitar problemas operativos causados por las altas temperaturas o la adhesión de cenizas volantes.</p> <p>Las técnicas que pueden usarse son:</p> <p>a) Optimización de la arquitectura de la caldera.</p> <p>b) Uso de un sobrecalentador de tipo «platina».</p>	<p>a) La mayor disponibilidad de la planta y el mejor intercambio de calor permiten mayores posibilidades globales de recuperación energética. El diseño para reducir la contaminación de la caldera también reduce la retención de polvo dentro de las zonas de temperatura que podrían incrementar el riesgo de formación de dioxinas.</p> <p>b) Estos sobrecalentadores de tipo «platina» permiten obtener vapor sobrecalentado con una buena estabilidad y disponibilidad.</p> <p>Véase también la MTD n.º 23.</p>	<p>a) Los ahorros operativos causados por un menor mantenimiento y unas ventas de energía mayores pueden conllevar periodos muy cortos de recuperación de la inversión y, por tanto, pueden justificar la adopción de estas técnicas en instalaciones nuevas.</p> <p>b) Resulta menos caro que los serpentines para los sobrecalentadores de última etapa. Su uso puede aumentar los costes de construcción y, por tanto, debe considerarse en comparación con la vida operativa adicional que puede ganarse del intercambiador de calor.</p> <p>Véase también la MTD n.º 23.</p>
<p>73.- Uso de un diseño de cámara de combustión que permita la contención, agitación y transporte de los residuos, por ejemplo hornos rotatorios (con o sin refrigeración por agua). La refrigeración por agua en hornos rotatorios puede resultar favorable cuando el BVC de los residuos introducidos sea superior (p. ej. > 15-17 GJ/t) o se usen temperaturas más altas.</p>	<p>La ventaja principal de los hornos rotatorios con refrigeración por agua es que se pueden conseguir temperaturas superiores si es necesario.</p>	<p>n. d.</p>

4.2.1. Selección de la tecnología de combustión

La selección de la tecnología de combustión está muy asociada con los tipos de residuos que pueden incinerarse en la instalación; en esta sección se presenta una explicación detallada de los tipos de incinerador y de sus características.

Estas tecnologías son muy específicas, por lo que debe realizarse una valoración de cada situación particular en la región mediterránea: instalación, tipo y cantidad de residuos, etc. (véase la tabla 4.4, MTD números 17 y 73).

- Identificación de una filosofía de control de la combustión:

- Sistema adecuado de control de la combustión: es aplicable en todas las instalaciones de incineración.
- Cámaras de infrarrojos: se pueden utilizar principalmente en incineradores de parrilla. Esta

técnica sólo es aplicable si puede usarse cuando el diseño del horno permite que la cámara tenga visión de las áreas relevantes de la parrilla. Además, la aplicación está limitada, en general, a hornos de gran escala, con diversas líneas de parrillas (p. ej. > 10 t/h).

- Uso del diseño de la cámara de combustión: esta técnica es aplicable a incineradores de horno rotatorio con grandes entradas de residuos de bajo valor calorífico (BVC). Se aplica básicamente en plantas de residuos peligrosos, pero puede también aplicarse a otros residuos incinerados en hornos rotatorios. La técnica es especialmente adecuada para plantas que necesitan altas temperaturas para la destrucción de determinados tipos de residuos.

4.2.1.1. Incineradores de parrilla

Los incineradores de parrilla se usan ampliamente para la incineración de residuos municipales mezclados. Otros residuos habitualmente tratados son los residuos no peligrosos de origen comercial e industrial, lodos de alcantarillado y algunos residuos clínicos.

Como el objetivo de este documento se limita a los residuos peligrosos, no se detallarán más aspectos de esta tecnología.

4.2.1.2. Hornos rotatorios

Los hornos rotatorios son muy resistentes y pueden usarse para incinerar casi cualquier tipo de residuos, independientemente de su composición.

Las temperaturas de funcionamiento de los hornos rotatorios usados para residuos se hallan entre los 500 °C (como gasificador) y los 1450 °C (como horno de fundición de cenizas a alta temperatura). A veces se usan temperaturas superiores, pero normalmente se trata de aplicaciones no asociadas a residuos.

Cuando se usan para la combustión oxidativa convencional, la temperatura acostumbra a situarse por encima de los 850 °C. Al incinerar residuos peligrosos son habituales temperaturas del orden de 900 a 1200 °C.

Para aumentar la destrucción de compuestos tóxicos, se suele añadir una cámara de postcombustión. Puede aplicarse un quemado adicional, usando residuos líquidos o combustible adicional, para mantener las temperaturas necesarias para garantizar la destrucción de los residuos incinerados.

4.2.1.3. Hornos y cámaras de postcombustión para incineración de residuos peligrosos

La temperatura de funcionamiento del horno en instalaciones de incineración suele situarse entre los 850 °C y los 1300 °C. La temperatura puede mantenerse quemando residuos de alta capacidad calorífica, aceite de residuos, aceite de calefacción o gas. Los hornos de alta temperatura pueden equiparse con sistemas de refrigeración por agua, que es la solución preferida para el funcionamiento a altas temperaturas. El funcionamiento a temperaturas superiores puede producir cenizas de horno (escoria) fundidas (vitrificadas); a temperaturas más bajas las cenizas se sinterizan.

Las temperaturas en la cámara de postcombustión (CPC) varían, habitualmente, entre los 900 °C y los 1200 °C, según la instalación y la alimentación de residuos. La mayoría de instalaciones tienen la capacidad de inyectar aire secundario en la cámara de postcombustión. Gracias a las altas temperaturas y a la introducción de aire secundario, la combustión de los gases de escape es completa y se destruyen los compuestos orgánicos (como HAP, PCB y dioxinas), incluyendo los hidrocarburos de bajo peso molecular.

4.2.1.3.1. Horno de tambor con cámara de postcombustión para incineración de residuos peligrosos

Para la incineración de residuos peligrosos ha demostrado su efectividad una combinación de hornos de tambor con cámaras de postcombustión, ya que permite tratar de forma uniforme residuos sólidos, pastosos, líquidos y gaseosos.

En general, para la incineración de residuos peligrosos se usan hornos de tambor con una longitud de 10 a 15 m y una proporción entre longitud y diámetros de 3 a 6, con un diámetro interior de 1 a 5 m.

4.2.1.4. Lecho fluidificado

Los incineradores de lecho fluidificado se aplican ampliamente en la incineración de residuos finamente divididos, como combustible derivado de desechos (CDD) y lodos de alcantarillado. En general se han usado para la combustión de combustibles homogéneos, como carbón, lignito, lodos de alcantarillado y biomasa.

En el lecho fluidificado se produce el secado, la volatilización, la ignición y la combustión. La temperatura en la zona libre sobre el lecho se halla entre 850 °C y 950 °C. Sobre el material del lecho fluidificado, el espacio libre se diseña para permitir la retención de los gases en la zona de combustión. En el propio lecho la temperatura es menor (unos 650 °C).

A causa de la naturaleza del reactor, que permite una buena mezcla, los sistemas de incineración de lecho fluidificado tienen una distribución uniforme de temperaturas y de oxígeno, lo que permite un funcionamiento estable. Para residuos heterogéneos, la combustión en lecho fluidificado requiere una etapa preparatoria de los residuos para que se ajuste a las especificaciones de tamaños.

4.2.1.4.1. Incineración en lecho fluidificado estacionario o de burbujas (LFB)

Este tipo de lecho fluidificado se usa habitualmente para lodos de alcantarillado, así como para otros lodos industriales, como los químicos y petroquímicos.

Durante el encendido, o cuando la calidad del lodo es baja (p. ej. con lodos viejos o con un gran contenido de lodo secundario), se puede usar un combustible adicional (aceite, gas o combustible derivado de desechos) para alcanzar la temperatura necesaria del horno (habitualmente 850 °C). Para controlar la temperatura puede inyectarse agua en el horno.

4.2.1.4.2. Lecho fluidificado circulante (LFC) para lodos de alcantarillado

El lecho fluidificado circulante es especialmente adecuado para la incineración de lodos de alcantarillado desecados y con un gran valor calorífico. Funciona con material del lecho fino y a gran velocidad de gas, lo que permite eliminar la mayor parte de las partículas sólidas de la cámara del lecho fluidificado con los gases de combustión. Posteriormente las partículas se separan en un ciclón descendiente y vuelven a la cámara de incineración. La ventaja de este proceso es que se puede lograr un gran intercambio de calor y una temperatura más uniforme en altura con un bajo volumen de reacción. El tamaño de la planta suele ser superior al de una de LFB y puede tratarse una mayor variedad de residuos.

4.2.1.4.3. Hornos de parrilla extendedora

Este sistema puede considerarse un sistema intermedio entre la incineración en parrilla y en lecho fluidificado.

En comparación con la incineración en parrilla, ésta es de construcción menos compleja debido a que las cargas térmicas y mecánicas son relativamente más pequeñas. En comparación con los sistemas de lecho fluidificado, la uniformidad del tamaño de las partículas es menos importante y hay menor riesgo de atascos.

4.2.1.4.4. Lecho fluidificado rotatorio

Este sistema es un desarrollo del lecho fluidificado de burbujas para incineración de residuos. Sus características específicas –placas de toberas inclinadas, anchos bajantes de extracción de cenizas del lecho y tornillos de alimentación y extracción más grandes– garantizan una manipulación fiable de los residuos sólidos. El control de la temperatura dentro de la cámara de combustión con recubrimiento refractario se obtiene mediante recirculación de los gases de combustión, lo que

permite un gran intervalo de valores caloríficos de los combustibles.

4.2.1.5. Sistemas de pirólisis y gasificación

Desde la década de 1970 se han desarrollado tecnologías alternativas para el tratamiento térmico de residuos. En general, estas tecnologías se han aplicado a flujos de residuos seleccionados y a menor escala que la incineración e intentan separar los componentes de las reacciones que se producen en las plantas convencionales de incineración de residuos controlando las temperaturas y presiones del proceso en reacciones especialmente diseñadas.

Los objetivos adicionales de los procesos de gasificación y pirólisis son:

- Convertir determinadas fracciones de los residuos en gas manufacturado, llamado gas sintético o *syngas*.
- Reducir los requisitos para la limpieza del gas reduciendo el volumen de los gases de combustión.

La pirólisis y la gasificación difieren de la incineración en que pueden usarse para recuperar el valor químico de los residuos (más que su valor energético). Los productos químicos obtenidos pueden, en algunos casos, usarse posteriormente como alimentación de otros procesos. Sin embargo, cuando se aplica a los residuos es más habitual combinar los procesos de pirólisis, gasificación y combustión, a menudo en la misma instalación, como parte de un proceso integrado. En este caso, la instalación recupera el valor energético más que el valor químico de los residuos, igual que en un incinerador normal.

En algunos casos, los residuos sólidos de estos procesos contienen contaminantes que, en un sistema de incineración pasarían a la fase gaseosa y, posteriormente, con una limpieza efectiva de los gases de combustión, quedarían eliminados con los restos del TGC.

En la tabla 4.5 se muestran las condiciones de reacción y productos habituales de los procesos de pirólisis, gasificación e incineración.

Tabla 4.5: Condiciones de reacción habituales para la pirólisis, gasificación e incineración

	Pirólisis	Gasificación	Combustión
Temperatura de reacción (°C)	250 - 700	500 - 1600	800 - 1450
Presión (bar)	1	1 - 45	1
Atmósfera	Inerte / nitrógeno	Agente de gasificación: O ₂ , H ₂ O	Aire
Proporción estequiométrica	0	< 1	> 1
Productos del proceso			
Fase gaseosa:	H ₂ , CO, hidrocarburos, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂
Fase sólida:	Cenizas, coque	Escoria, cenizas	Cenizas, escoria
Fase líquida:	Aceite de pirólisis y agua		

La mejor técnica disponible para ambos sistemas es la número 24 de la tabla 4.4.

4.2.1.5.1. Pirólisis

La pirólisis es la degasificación de los residuos en ausencia de oxígeno, durante la cual se forman gas de pirólisis y coque sólido. El valor calorífico del gas de pirólisis se sitúa habitualmente entre los 5 y los 15 MJ/m³ basado en residuos municipales y entre 15 y 30 MJ/m³ basado en combustible derivado de desechos. En su sentido más amplio «pirólisis» es un término genérico que engloba diversas combinaciones de tecnologías diferentes que, en general, consiste en las siguientes etapas:

- Proceso de combustión lenta: formación de gas a partir de partículas volátiles de los residuos a temperaturas de 400 a 600 °C.
- Pirólisis: descomposición térmica de moléculas orgánicas de los residuos entre 500 y 800 °C, con formación de gas y una fracción sólida.
- Gasificación: conversión de la parte de carbono restante en el coque de pirólisis a una temperatura de 800 a 1000 °C, con ayuda de una sustancia gasificadora en un gas manufacturado.
- Incineración: en función de la combinación de tecnologías, el gas y el coque de pirólisis se queman en una cámara de incineración.

Además del tratamiento térmico de ciertos residuos municipales y lodos de alcantarillado, los procesos de pirólisis también se usan para:

- descontaminación del suelo;
- tratamiento de residuos sintéticos y neumáticos usados;
- tratamiento de extremos de cables y de compuestos metálicos y plásticos para recuperación de sustancias.

Las ventajas potenciales de los procesos de pirólisis pueden ser:

- Posibilidad de recuperar el valor material de fracciones orgánicas, p. ej. como metanol.
- Posibilidad de aumentar la generación eléctrica mediante motores de gas o turbinas de gas para la generación (en lugar de calderas de vapor).
- Reducción del volumen de los gases de combustión tras la combustión, lo que puede reducir parcialmente los costes del TGC.
- Posibilidad de cumplir con las especificaciones para uso externo de la carbonilla generada en la limpieza (p. ej. de contenido en cloro).

4.2.1.5.2. *Gasificación*

La gasificación es la combustión parcial de sustancias orgánicas para producir gases que pueden usarse como materia de alimentación o como combustible.

Se dispone de diversos procesos de gasificación (algunos en fase de desarrollo) adecuados para el tratamiento de residuos municipales, de determinados residuos peligrosos y de lodos de alcantarillado desecados.

Es importante que la naturaleza de los residuos introducidos se mantenga dentro de ciertos límites predefinidos. El pretratamiento es necesario, especialmente para los residuos municipales. Los residuos peligrosos pueden gasificarse directamente si son líquidos, pastosos o finamente granulados.

Las características especiales del proceso de gasificación son:

- Menor volumen de gas, en comparación con el volumen de gases de combustión en la incineración (hasta un factor 10 usando oxígeno puro).
- Formación predominante de CO en lugar de CO₂.
- Altas presiones de funcionamiento (en algunos procesos).
- Acumulación de residuos sólidos como escoria (en gasificadores de escorificación de alta temperatura).
- Agregados pequeños y compactos (especialmente en gasificación a presión).
- Uso material y energético del gas de síntesis.
- Menores caudales de aguas residuales procedentes de la limpieza del gas de síntesis.

Se usan los siguientes reactores de gasificación:

- Gasificador de lecho fluidificado.
- Gasificador de flujo de corriente.
- Gasificador ciclónico.
- Gasificador de lecho estático.

4.2.1.6. *Otras técnicas*

4.2.1.6.1. *Hornos de solera estática y en gradas*

Los hornos de solera estática consisten en una caja con recubrimiento refractario en donde los residuos se queman en su base, a menudo con inyección de combustibles de apoyo por encima del residuo en cremación, para ayudar a mantener las temperaturas. En algunos casos se han usado estos sistemas como medio de eliminación de animales muertos, partes de animales, residuos de envasado y algunos residuos clínicos.

Los sistemas de solera en gradas constituyen un desarrollo de los anteriores. Habitualmente están formados por entre 2 y 4 soleras estáticas dispuestas en forma de una serie de gradas. Estos sistemas pueden cumplir con los requisitos legales actuales para algunos tipos de residuos. El quemado de los residuos puede ser variable y muy dependiente de su tipo.

4.2.1.6.2. Hornos de soleras múltiples

Los hornos de soleras múltiples se usan principalmente para la incineración de lodos (p. ej. lodos de alcantarillado).

El número de bandejas para el secado, la incineración y el enfriamiento se determina a partir de las características del material residual. El horno de soleras múltiples también está equipado con un quemador de encendido, un mecanismo de dosificación del lodo, circulación, ejes de mangas y soplantes de aire exterior.

La temperatura de incineración está limitada a 980 °C, ya que por encima de ella se alcanzaría la temperatura de fusión de las cenizas del lodo y se formaría clínker. Para evitar fugas de gases de combustión tóxicos calientes, los hornos de soleras múltiples siempre funcionan a una ligera presión de vacío.

4.2.1.6.3. Horno de lecho fluidificado de soleras múltiples

Se instalan diversas capas en el espacio libre de un lecho fluidificado estacionario, lo que permite presecar el lodo con gases de combustión. Con este proceso de secado previo, en el lecho fluidificado propiamente dicho sólo se evapora una cantidad pequeña de agua, lo que permite una reducción de la superficie de la parrilla y de las dimensiones de todo el horno.

En un horno de lecho fluidificado de soleras múltiples se fomenta la incineración uniforme optimizando el suministro de aire, la adición de arena y la evaporación en las capas y en el lecho fluidificado. Se pueden evitar temperaturas superiores, es decir, diferencias de temperatura entre las partes superior e inferior del horno, y conseguir, así, una menor formación de NO_x.

4.2.1.6.4. Cámaras de incineración para residuos líquidos y gaseosos

Las cámaras de incineración están específicamente diseñadas para la incineración de residuos líquidos y gaseosos, así como sólidos en dispersión en líquidos. Una aplicación habitual de estas cámaras se encuentra en la industria química, para incineración de líquidos y gases emitidos. Con residuos que contienen cloruros, se puede recuperar HCl para su uso posterior.

Todas las cámaras de postcombustión en plantas de incineración de residuos peligrosos son, básicamente, cámaras de incineración. Existe una planta en Rávena (Italia) donde la cámara de postcombustión es tan grande que todo el proceso térmico puede realizarse en su interior.

Las temperaturas de operación se escogen habitualmente de forma que garanticen una buena destrucción de los residuos introducidos. Algunos sistemas catalíticos se usan para flujos de residuos específicos y funcionan a temperaturas inferiores, que oscilan entre 400 y 600 °C.

4.2.1.6.5. Cámara de incineración cicloidal para lodos de alcantarillado

Actualmente se usa una cámara de incineración cicloidal para la eliminación térmica de lodos de alcantarillado. El tamaño de partícula óptimo para la ignición del combustible se halla entre 1 y 5 mm, por lo que sólo se pueden usar gránulos de lodos de alcantarillado desecados.

4.2.1.6.6. Incineración de aguas residuales

Las aguas residuales pueden limpiarse mediante la incineración de su contenido orgánico. Se trata de una tecnología especial para el tratamiento de aguas residuales industriales en que su contenido orgánico, y a veces inorgánico, se oxida químicamente con ayuda de oxígeno atmosférico y la evaporación del agua a altas temperaturas. El término «oxidación en fase gaseosa» se usa para

diferenciar este tipo de incineración de otras tecnologías, como la oxidación húmeda. El proceso de oxidación en fase gaseosa se usa si las sustancias orgánicas del agua no pueden reutilizarse, si su recuperación no es rentable o si no se aplica alguna otra técnica.

4.2.1.6.7. Tecnologías de plasma

El plasma es una mezcla de electrones, iones y partículas neutras. Este gas conductor ionizado de alta temperatura puede crearse mediante la interacción de un gas con un campo eléctrico o magnético. Los plasmas son una fuente de especies reactivas y sus altas temperaturas favorecen reacciones químicas rápidas.

Los procesos con plasma alcanzan altas temperaturas (de 5000 a 15 000 °C), como resultado de la conversión de energía eléctrica en calor para generar el plasma. Esta generación se basa en hacer pasar una corriente eléctrica de gran intensidad a través de un flujo de gas inerte.

En estas condiciones, cuando los contaminantes peligrosos –como los PCB, dioxinas, furanos, plaguicidas, etc.– se inyectan en el plasma se descomponen en sus constituyentes atómicos. El proceso se usa para tratar sustancias orgánicas, PCB (incluyendo equipos de pequeñas dimensiones) y HCB. En muchos casos puede ser necesario el pretratamiento de los residuos.

En función del tipo de residuos tratados se hace necesario un sistema de tratamiento de los gases de escape, cuyos restos son cenizas o sólidos vitrificados. La eficiencia de destrucción de esta tecnología es muy alta (> 99,99 %). El plasma es una tecnología comercial establecida; sin embargo, el proceso puede ser muy complejo, caro e intenso por lo que respecta al operador.

4.2.2. Uso de modelos de flujo

Se pueden usar modelos físicos o informáticos para investigar el efecto de las diferentes características del diseño. En estos modelos se pueden investigar diversos parámetros, como las velocidades y temperaturas del gas dentro del horno y las calderas. También puede estudiarse el flujo de gas a través de los sistemas de TGC con vistas a mejorar su eficiencia; p. ej. unidades de RCS.

Los modelos se han aplicado con éxito, tanto en plantas de incineración nuevas como en las ya existentes, especialmente para optimizar:

- la geometría del horno y la caldera;
- la ubicación de la recirculación de aire secundario o de gases de combustión (si se usa);
- los puntos de inyección de reactivos para reducción de NO_x en RNCS;
- el flujo de gas a través de las unidades de RCS.

En la MTD número 15 (tabla 4.4) puede hallarse más información. La aplicabilidad específica de esta técnica es la siguiente:

- Modelización de flujo: es aplicable en nuevos proyectos de incineración de residuos, plantas en las que existe preocupación sobre el diseño de la caldera y la combustión, plantas existentes en proceso de modificar el horno o caldera, plantas nuevas y existentes que investigan sobre la ubicación de equipos de inyección para recirculación de aire secundario o gases de combustión e instalaciones que usan o usarán RCS.

Esta técnica puede resultar útil en la región mediterránea, pero dado que sus costes son medio-altos, deben estudiarse cuidadosamente las ventajas globales que ofrece.

4.2.3. Uso de funcionamiento continuo en lugar de por lotes

Las emisiones de las plantas de incineración son más fáciles de controlar durante el funcionamiento rutinario que durante las operaciones de encendido y apagado. La reducción del número de tales

operaciones es una estrategia operativa importante que puede reducir las emisiones y el consumo globales. También es importante el correcto dimensionado y mantenimiento de las plantas para maximizar el funcionamiento continuo.

Los factores que ayudan a conseguir una capacidad continua son:

- Una velocidad de producción similar a la velocidad de recepción de residuos, según el diseño del proceso.
- Un almacenaje de residuos (allí donde sea posible) que pueda cubrir los períodos lentos (fluctuaciones estacionales de generación de residuos).
- Una organización de la cadena de suministro que evite los períodos lentos.
- La adición de combustibles a la alimentación de residuos.
- El uso de limpieza en línea.

En la MTD 16 (tabla 4.4) se describen detalles adicionales y su aplicabilidad específica es la siguiente:

- Adopción de programas operativos: la planificación de un menor número de paradas, así como su consecución, puede reducir los valores de emisiones anuales de cualquier planta.

4.2.4. Control de las condiciones en que se produce la combustión

Esta sección está dividida en tres partes: optimización de la estequiometría del suministro de aire, optimización del suministro, y distribución del aire primario y del aire secundario. En general, las técnicas de control son una parte clave del proceso de combustión, ya que garantizan el cumplimiento de las condiciones correctas. A causa de su valor para evitar incidentes y situaciones anómalas, se recomiendan encarecidamente en la región mediterránea.

La aplicabilidad específica de estas técnicas es la siguiente (véase MTD 18, tabla 4.4):

- Optimización y control de las condiciones de combustión:
 - a) Suministro de aire primario: esta técnica se aplica en todas las plantas.
 - b) Inyección de aire secundario: es aplicable en todas las plantas de incineración de residuos.
 - c) Diseño para aumentar la turbulencia: el proveedor proyecta la CCS en la etapa de diseño. Con determinados diseños de hornos para algunos tipos de residuos pueden ser necesarias características adicionales. El uso de características físicas adicionales para aumentar el nivel de mezcla se aplica actualmente en la **industria de IRP**.

4.2.4.1. Optimización de la estequiometría del suministro de aire

En los sistemas de combustión debe suministrarse suficiente oxígeno (normalmente de la atmósfera) para garantizar que las reacciones de combustión se completen. En consecuencia, el suministro de aire tiene los siguientes objetivos:

- Refrigeración.
- Prevención de formación de escoria en la cámara de combustión o caldera.
- Mezcla de gases para mejorar la eficiencia.
- Influencia en la calidad del quemado.

La cantidad de aire exacta necesaria depende del tipo y características de los residuos, así como del tipo de combuster.

En general, debe evitarse un suministro excesivo de aire, aunque debe ser suficiente para garantizar una combustión efectiva, tal como demuestran unas concentraciones de CO bajas y estables después del horno.

4.2.4.2. Optimización del suministro y distribución del aire primario

El aire primario es el que se suministra dentro del lecho de residuos, o directamente encima de éste, para proporcionar el oxígeno necesario para la combustión. La forma de suministro está directamente relacionada con la tecnología de incineración.

En los sistemas de parrilla, el suministro se realiza a través de ésta y hacia el lecho de residuos con el fin de proporcionar el aire necesario a las diferentes zonas de la parrilla en que se producen las reacciones y garantizar así una distribución homogénea y suficiente dentro del lecho. Esto mejora el quemado de las cenizas de horno y la refrigeración de las barras, y evita la escorificación y la corrosión. La refrigeración de parrillas refrigeradas por fluidos se logra habitualmente mediante un circuito de agua independiente y, por tanto, el efecto del aire primario en la refrigeración es irrelevante.

4.2.4.3. Optimización del suministro y distribución del aire secundario

Durante el secado, la gasificación, la incineración y el quemado, los residuos combustibles se transforman en gases. Estos gases son una mezcla de muchos componentes volátiles que deben oxidarse. Para ello, se introduce en el horno aire adicional, también llamado aire secundario.

Otra función del aire secundario es mezclar los gases de combustión calientes. Para ello se introduce en el horno a través de numerosas toberas, lo que garantiza una cobertura correcta de toda la sección transversal del horno.

4.2.5. Uso de quemadores auxiliares automatizados

Durante el encendido, los quemadores auxiliares se usan para crear una zona en la que haya una temperatura superior a la mínima necesaria y a través de la cual se pasan los gases de combustión del horno al incinerador secundario. Esta es la condición operativa principal para el diseño del quemador. Para garantizar una temperatura suficiente en condiciones extremas, se instalan quemadores auxiliares que se usan cuando la temperatura cae por debajo de la mínima necesaria.

La MTD asociada a esta práctica es la número 21 (tabla 4.4). Puede aplicarse a todos los incineradores de residuos, especialmente a aquellos que reciben residuos de bajo valor calorífico (BVC) o residuos de calidad poco consistente.

4.2.6. Protección de las paredes de membranas del horno y el primer paso de la caldera con materiales refractarios o de otro tipo

El horno está formado por paredes de membranas que consisten en filas de tubos verticales, conectados por fajas y soldadas de modo que formen una pared (membrana) cerrada, que es parte de la sección de evaporación de la caldera. En particular, en la parte inferior del horno las paredes de membranas deben protegerse frente al efecto corrosivo y abrasivo de los gases de combustión, que en este punto aún no están completamente incinerados. Para ello, las paredes del horno de la sección inferior se recubren con una capa de material refractario cerámico o de otro tipo. Una ventaja adicional de esta protección para los residuos de bajo valor calorífico es la reducción de la transferencia de calor a la caldera, que resulta beneficiosa cuando deben mantenerse las temperaturas.

La mejor técnica disponible asociada a esta tecnología es la número 22 (tabla 4.4). Sus condiciones de aplicabilidad específicas son las siguientes:

- Uso de una combinación de eliminación de calor cercana al aislamiento del horno:
 - a) Protección de las paredes de membranas del horno: esta técnica se aplica básicamente en incineradores de parrilla municipales.
 - b) Uso de un horno-caldera integrado: es aplicable a todos los tipos de parrillas, excepto a los hornos rotatorios y oscilantes. La capacidad de los hornos debe ser superior a 10 t/h.

4.2.7. Uso de velocidades bajas del gas en el horno e inclusión de pasos vacíos antes de la sección de convección de la caldera

Los hornos de incineradores de residuos se suelen diseñar con las dimensiones suficientes para disponer de velocidades bajas de los gases y largos tiempos de residencia. Esto permite el quemado completo de los gases de combustión y evita la contaminación de las conducciones de la caldera.

La contaminación del intercambiador de calor también puede reducirse añadiendo pasos vacíos entre el área principal del horno y los haces de intercambio de calor, lo que permite reducir la temperatura del gas y, en consecuencia, la adherencia de las cenizas volantes.

Véanse las MTD 23 y 25 (tabla 4.4) para información adicional sobre estas técnicas. Se pueden aplicar en la región mediterránea siempre que sea necesario y las ventajas asociadas compensen los costes adicionales. Su aplicabilidad específica es la siguiente:

- Uso de dimensiones del horno lo bastante grandes para ofrecer una combinación efectiva de residencia de los gases: esta técnica es aplicable principalmente en el diseño de nuevas plantas y en los casos en que se realicen reformas importantes en hornos y calderas ya existentes. También se puede aplicar a casi todos los tipos de incineradores.
- Uso de un diseño de horno que permita reducir suficientemente las temperaturas de los gases: se puede aplicar en la etapa de diseño a todas las plantas de incineración con calderas de recuperación energética, si existe una preocupación por mejorar la eficiencia y la vida útil. Se puede instalar un sobrecalentador de tipo «platina» en cualquier caldera con dos o tres pasos abiertos.

4.3. ETAPA DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

La recuperación energética es un aspecto importante en este tipo de instalaciones, ya que ahorra problemas y costes asociados a la energía. En la siguiente sección se ha elaborado una descripción de las técnicas principales asociadas a la mejora de la etapa de recuperación energética. En la tabla 4.6 se resumen las mejores técnicas y prácticas disponibles. Su aplicabilidad específica se presenta en cada sección, aunque, en general, estas técnicas son aplicables a todos los incineradores de residuos peligrosos.

En la región mediterránea deben realizarse valoraciones particulares para garantizar las mejoras esperadas.

Tabla 4.6: MTD para la recuperación energética

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>26.- Optimización global de la eficiencia energética de la instalación y de la recuperación de energía, principalmente a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • reducción de las pérdidas energéticas con los gases de combustión; • uso de una caldera para transferir energía para la producción de electricidad o el suministro de vapor o calor con una eficiencia de conversión térmica para residuos peligrosos que conlleven un aumento en los riesgos de corrosión (habitualmente a causa del contenido en cloro y azufre) superior al 60-70 %; • para los procesos de gasificación y pirólisis, uso de una caldera con una eficiencia de conversión térmica de un 80 % como mínimo o uso de un motor de gas u otra tecnología de generación de electricidad. 	<p>El aumento de la recuperación y del suministro y uso efectivo del valor energético de los residuos sustituye la necesidad de una generación externa de esta energía, con el consiguiente ahorro de recursos y reducción de las emisiones y del consumo de la central energética externa.</p>	<p>Los costes relativos de tratamiento superiores para plantas pequeñas y la falta de una economía de escala tienden a provocar una menor disponibilidad de capital para inversión en las técnicas de recuperación energética más sofisticadas. Esto, a su vez, implica que en instalaciones más pequeñas es de esperar una menor eficiencia.</p>
<p>27.- Garantizar, si es posible, contratos a largo plazo de suministro de vapor o calor de carga básica con grandes usuarios de vapor y calor, de forma que exista una demanda más regular de la energía recuperada y, por tanto, se pueda usar una mayor proporción del valor energético de los residuos incinerados.</p>	<p>Véase la MTD n.º 26.</p>	<p>Véase la MTD n.º 26.</p>
<p>28.- Ubicación de nuevas instalaciones de forma que pueda maximizarse el uso del calor o el vapor generados en la caldera mediante cualquier combinación de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • generación de electricidad con suministro de vapor o calor para su uso; • suministro de calor o vapor para su uso en sistemas de calefacción centralizados; • suministro de vapor de procesamiento para diversos usos, especialmente industriales; • suministro de calor o vapor para su uso como energía motriz de sistemas de refrigeración o aire acondicionado. 	<p>Mejora la eficiencia energética global al suministrar calor a un usuario sinérgico.</p>	<p>Los altos precios de la electricidad fomentan la adopción de técnicas que aumenten la eficiencia de la generación eléctrica.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>29.- En los casos en los que se genera electricidad, optimización de los parámetros del vapor, considerando el uso de valores superiores para aumentar la generación de electricidad y la protección de los materiales de la caldera mediante materiales resistentes adecuados.</p>	<p>Se puede lograr una mayor producción eléctrica por tonelada de residuos quemados aumentando la presión o la temperatura del vapor. Esta mayor eficiencia reduce el uso externo de combustibles fósiles y las consiguientes emisiones de CO₂.</p>	<p>El coste del revestimiento puede compensarse con la reducción en los costes de mantenimiento y los ingresos procedentes de las ventas de electricidad y de una mayor disponibilidad de la planta.</p> <p>El coste del revestimiento es de unos 3000 EUR/m².</p> <p>La magnitud del aumento de los ingresos depende del precio de la energía obtenido.</p>
<p>30.- Selección de una turbina adecuada para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el programa de suministro de electricidad y calor; • una alta eficiencia eléctrica. 	<p>Tiene influencia en la producción de electricidad y energía.</p> <p>La toma de vapor conlleva una optimización en el uso de la energía.</p> <p>Los ahorros en combustibles fósiles disminuyen las emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero.</p>	<p>n. d.</p>
<p>31.- Minimización de la presión del condensador en instalaciones nuevas o en proceso de actualización en las que la generación de electricidad tiene preferencia sobre el suministro de calor.</p>	<p>Es posible una mayor generación de electricidad si se mejora el vacío.</p>	<p>El uso de técnicas de minimización de la presión mayores será más económico allí donde la electricidad tenga un precio más alto. Para condensadores refrigerados por aire (CRA), una mayor disminución de la presión exige una mayor superficie de los equipos y un mayor rendimiento de los motores de los ventiladores, lo que incrementa los costes.</p>
<p>32.- Minimización general de la demanda energética de toda la instalación, lo que incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • para el nivel de rendimiento exigido, selección de técnicas con la menor demanda energética global; • ordenación de los sistemas de tratamiento de gases de combustión de forma que se evite el recalentamiento de tales gases; 	<p>La reducción de la demanda del proceso disminuye la necesidad de generación de energía externa o permite exportar mayores cantidades de energía. La energía recuperada adicional puede suministrarse para su uso.</p>	<p>Se puede ahorrar en costes operativos reduciendo la demanda energética de procesos externos. Allí donde la energía ahorrada se pueda exportar, se obtendrán ingresos adicionales. Los costes de capital de rediseños importantes en plantas existentes pueden ser grandes en relación con los beneficios que se pueden obtener.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<ul style="list-style-type: none"> • uso de intercambiadores de calor para calentar los gases de combustión de entrada de la RCS con la energía de los gases de combustión en la salida de la RCS; • uso de sistemas de intercambio de calor para minimizar la demanda energética para el recalentamiento de los gases de combustión; • evitar el uso de combustibles primarios mediante la energía autogenerada. 		
<p>33.- Allí donde se necesiten sistemas de refrigeración, selección de los sistemas por condensación de vapor que se adapten mejor a las condiciones ambientales locales.</p>	<p>Las ventajas ambientales dependen del tipo escogido. Es posible disminuir la demanda eléctrica parásita de la instalación, los impactos térmicos, los impactos acústicos o los impactos visuales.</p>	<p>n. d.</p>
<p>34.- Uso de una combinación de técnicas de limpieza de la caldera en línea y fuera de línea para reducir el tiempo de residencia del polvo y su acumulación en la caldera.</p>	<p>Un mejor intercambio de calor aumenta la recuperación energética. Aunque se pueden usar los sistemas de tratamiento de los gases de combustión (TGC) para absorber o destruir PCDD/F, los riesgos de reformación pueden reducirse mediante una limpieza efectiva.</p>	<p>n. d.</p>
<p>37.- Al elegir entre un sistema de TGC húmedo, semihúmedo o seco, tener en cuenta los criterios generales de selección tal como se muestran a modo de ejemplo en la tabla 5.3 (BREF de incineración de residuos [3]).</p>	<p>Ejemplo de valoración de algunos criterios relevantes de IPPC que pueden tomarse en consideración. (BREF de incineración de residuos [3], tabla 5.3)</p>	<p>n. d.</p>
<p>38.- Para evitar el aumento asociado en el consumo eléctrico, evitar de forma general –es decir, a no ser que existan condiciones locales que obliguen a ello– el uso de dos filtros de mangas en una línea de TGC. Las técnicas que pueden usarse son:</p>	<p>a) Reducción adicional de las emisiones a la atmósfera (por debajo de 1 mg/m³) de polvo, metales pesados, mercurio y PCDD/F y gases ácidos.</p>	<p>a) Los aspectos clave por lo que respecta al coste de esta técnica son: el aumento de las inversiones de la unidad de procesamiento adicional y de los costes operativos,</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>a) Aplicación de un sistema adicional de refinamiento de los gases de combustión.</p> <p>b) Uso de filtrado de doble manga.</p>	<p>b) Reducción adicional en las emisiones de polvo a la atmósfera. Se pueden lograr valores medios en 24 horas inferiores a 1 mg/m³ en casi todas las situaciones. Es posible la separación de residuos del TGC, es decir, separación de las cenizas volantes de los residuos de neutralización de los GC. Ello puede permitir la recuperación de una fracción si existen los canales de salida adecuados.</p>	<p>debidos especialmente a los requisitos energéticos para la disminución de la presión, la provisión de aire comprimido para la retrocompresión del filtro de mangas y los costes adicionales de mantenimiento.</p> <p>b) Costes y unidades de procesamiento adicionales. Costes adicionales de mantenimiento y consumo energético.</p>
<p>72.- Inyección directa de residuos peligrosos líquidos y gaseosos en los casos en que estos residuos exijan una reducción específica de la exposición, las emisiones o los riesgos de olores.</p>	<p>Prevención de emisiones difusas a la atmósfera debidas al hecho de que los residuos se introducen mediante un sistema completamente cerrado.</p>	<p>Una inversión media para una línea especializada se eleva a una cantidad de entre 100 000 y 200 000 EUR.</p>
<p>74.- Reducir la demanda energética de la instalación y lograr una demanda eléctrica media por debajo de 0,3 - 0,5 MWh/t de los residuos procesados.</p>	<p>Al reducir la demanda del proceso disminuye la necesidad de generación de energía externa o se permite la exportación de mayores cantidades de energía. La energía adicional recuperada puede suministrarse para su uso.</p>	<p>Se puede ahorrar en costes operativos reduciendo la demanda energética de procesos externos. Allí donde la energía ahorrada se pueda exportar se obtendrán ingresos adicionales. Los costes de capital de rediseños importantes en plantas existentes pueden ser grandes en relación con los beneficios que se pueden obtener.</p>

4.3.1. Introducción y principios generales

Las plantas de incineración pueden liberar el valor energético de los residuos y pueden suministrar electricidad, vapor y agua caliente. Si una planta está situada de modo que puedan maximizarse el suministro y el uso de estos flujos externos, se conseguirá una mejor utilización del valor energético de los residuos.

La entrada de energía en las plantas de incineración se obtiene básicamente del contenido calorífico de los residuos, pero también puede proceder de combustible adicional añadido para complementar el proceso de combustión, así como de energía importada (electricidad). Mejorar la eficiencia de la planta consiste en optimizar todo el proceso. La técnica para la eficiencia energética óptima depende de la ubicación concreta y de factores operativos. Algunos ejemplos de los factores que deben tenerse en cuenta para determinar la eficiencia energética óptima son:

- Ubicación. Si existen usuarios o una red de distribución para la energía.

- Demanda de la energía recuperada. No tiene mucho sentido recuperar energía que no se va a usar. Esto constituye un problema especial con el calor, pero no tanto con la electricidad.
- Variabilidad de la demanda.
- Clima. En general el calor tendrá más valor en climas más fríos.
- Fiabilidad del suministro de energía o combustible. Las plantas aisladas pueden experimentar entregas de residuos poco fiables o incluso interrupciones del suministro eléctrico que pueden provocar paradas o una mayor dependencia del uso de energía autogenerada.
- Composición de los residuos. Unas concentraciones altas de sustancias corrosivas pueden provocar un aumento del riesgo de corrosión, lo que limita los parámetros del vapor si debe mantenerse la disponibilidad del proceso.
- Variabilidad de los residuos. Unas fluctuaciones rápidas y considerables en la composición pueden provocar problemas de contaminación y corrosión que limiten la presión de vapor y, por tanto, la generación de electricidad.
- Plantas de conversión de alta eficiencia eléctrica. Pueden ser atractivas cuando las tarifas eléctricas son elevadas, aunque a menudo es necesario usar tecnologías más sofisticadas, con el consiguiente posible impacto negativo en la disponibilidad.

La combustión es un proceso exotérmico (genera calor). La mayoría de la energía producida durante la combustión se transfiere a los gases de combustión. El enfriamiento de estos gases permite:

- recuperar la energía de los gases de combustión calientes;
- limpiar los gases de combustión antes de su emisión a la atmósfera.

En plantas sin recuperación de calor los gases se suelen enfriar mediante inyección de agua, aire o ambos. En la mayoría de casos se usa una caldera.

En las plantas de incineración de residuos la caldera tiene dos funciones relacionadas entre sí:

- Enfriar los gases de combustión.
- Transferir el calor de los gases de combustión a otro fluido, normalmente agua, que en general se transforma en vapor dentro de la caldera.

El diseño de la caldera dependerá básicamente del flujo y de las características de los gases de combustión y éstas dependen mucho del contenido de los residuos. Los **residuos peligrosos**, por ejemplo, tienden a presentar grandes variaciones en composición y, a veces, grandes concentraciones de sustancias corrosivas en los gases sin tratar. Esto tiene un impacto significativo en las posibles técnicas de recuperación energética que se podrán emplear. En particular, la caldera puede sufrir una corrosión considerable y, con este tipo de residuos, puede ser necesario disminuir la presión de vapor.

Los usos principales de la energía transferida a la caldera son:

- Producción y suministro de calor (en forma de vapor o agua caliente).
- Producción y suministro de electricidad.
- Combinaciones de los anteriores.

La aplicabilidad específica es la siguiente (MTD 26, 27 y 73 en la tabla 4.6):

- Optimización global de la eficiencia energética de la instalación: el intervalo de eficiencia que puede lograrse depende de la naturaleza fisicoquímica de los residuos que se queman, así como de su contenido calorífico. En general, se puede conseguir una mayor eficiencia eléctrica cuando los residuos contienen concentraciones menores o menos variables de sustancias que pudieran potenciar la corrosión en las calderas. Como la corrosión a alta temperatura se convierte en un problema cada vez mayor para parámetros del vapor superiores, la necesidad de una gran disponibilidad de la planta puede llegar a ser un factor limitante.

- Reducción de la demanda energética de la instalación: las opciones de optimización son mayores en las instalaciones nuevas, mientras que en las plantas existentes las opciones son más reducidas.

4.3.2. Reducción del consumo energético global de los procesos

La reducción del consumo de energía es una buena práctica importante, debido a sus beneficios ambientales y los ahorros que conlleva. Es totalmente aplicable en la región mediterránea a condición de que se tengan en cuenta las particularidades de cada instalación.

La reducción de los requisitos energéticos de la instalación debe equilibrarse con la necesidad de garantizar una incineración efectiva, lograr el tratamiento de los residuos y controlar las emisiones, especialmente a la atmósfera.

Algunas fuentes habituales de importante consumo energético son:

- Extractores inducidos y forzados para superar las caídas de presión y para el aire de combustión.
- Equipos de carga y transferencia de residuos (como bombas, grúas, cucharas o alimentadores de tornillo).
- Condensadores refrigerados por aire.
- Pretratamiento de los residuos (trituradores, etc.).
- Calefacción de los gases de combustión para dispositivos específicos de control de la contaminación (como filtros de mangas o sistemas de RCS).
- Recalefacción de los gases de combustión para reducir la visibilidad de la pluma.
- Combustibles para complementar la combustión y para el encendido y la parada.
- Tratamientos húmedos de los gases de combustión, que los enfrían mejor que los sistemas semihúmedos o secos.
- Demanda de electricidad de otros aparatos.

Las siguientes medidas y técnicas pueden reducir la demanda en las fuentes antes mencionadas:

- Evitar el uso de equipos innecesarios.
- Usar un enfoque integrado para los objetivos globales de optimización energética de la instalación, en lugar de optimizar cada unidad de proceso por separado.
- Ubicar equipos a alta temperatura antes de los equipos a baja temperatura o de caída de temperatura.
- Usar intercambiadores de calor para reducir las entradas de energía.
- Usar la energía generada por la planta de IR que, de otro modo, no se usaría ni se suministraría, para sustituir la importación de fuentes de energía externa.
- Usar equipos rotatorios con control de frecuencia para piezas de equipos que trabajen a velocidades variables, como ventiladores y bombas, en los casos en que funcionen a menudo con carga reducida.

La MTD seleccionada es la n.º 32, tal como se muestra en la tabla 4.6, y su aplicabilidad es la siguiente:

- Minimización general de la demanda energética global de la instalación: las opciones de optimización son mayores en instalaciones nuevas, donde es posible examinar y seleccionar entre diversos diseños globales para conseguir una solución que equilibre la reducción de las emisiones con el consumo de energía. En las instalaciones existentes, las opciones son más reducidas, a causa de los costes y el riesgo técnico adicional asociados a un rediseño

completo. Las plantas que se han actualizado para lograr unos valores límite de emisión determinados, en general, tienen que instalar equipos de limpieza de gases de final de proceso y, por tanto, incurrirán en valores de consumo de energía superiores.

4.3.3. Factores externos que afectan a la eficiencia energética: tipo y naturaleza de los residuos

Las características de los residuos entregados en la instalación determinarán las técnicas adecuadas y el grado de recuperación efectiva de la energía. Al seleccionar los procesos se tienen en cuenta las propiedades físicas y químicas.

4.3.4. Factores externos que afectan a la eficiencia energética: influencia de la ubicación de la planta en la recuperación de energía

Además de la calidad de los residuos y de los aspectos técnicos, la posible eficiencia de un proceso de incineración de residuos queda afectada, en gran medida, por las opciones de salida de la energía generada. Los procesos con la opción de suministrar electricidad, vapor o calor podrán usar más calor producido durante la incineración para este propósito, y no necesitarán disipar el calor, proceso que, por otro lado, reduce la eficiencia.

La mayor eficiencia de uso de la energía procedente de los residuos se puede obtener habitualmente cuando el calor recuperado del proceso de incineración se puede suministrar de forma continua como calefacción centralizada, vapor de procesamiento, etc., o en combinación con la generación de electricidad. Sin embargo, la adopción de estos sistemas depende mucho de la ubicación de la planta, en particular de la disponibilidad de un usuario fiable de la energía suministrada.

Es habitual la generación de electricidad sin suministro de calor y, en general, proporciona una manera de recuperar energía de los residuos que depende menos de las circunstancias locales.

La aplicabilidad específica de la MTD asociada (n.º 28 en la tabla 4.6) es:

- Ubicación de nuevas instalaciones: sólo es aplicable cuando existe una operación sinérgica convenientemente ubicada y se han conseguido acuerdos comerciales. Es especialmente aplicable cuando el objetivo central de la recuperación energética es la producción de electricidad. Es menos aplicable en plantas que pueden suministrar vapor o calor directamente al usuario.

4.3.5. Factores a tener en cuenta al seleccionar el diseño del ciclo energético

A partir de los datos obtenidos, se considera que deben tenerse en cuenta los siguientes factores al determinar el diseño local de una nueva planta de incineración de residuos.

Factor a considerar	Aspectos detallados a considerar
Alimentación de residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad y calidad. • Disponibilidad, regularidad, variación estacional de las entregas. • Previsiones de cambios en la naturaleza y la cantidad de los residuos. • Efectos de la separación y el reciclaje de residuos.
Posibilidades de ventas de energía	<p>Calor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A vecindarios. • A industrias privadas. • Uso de calor. • Condicionantes geográficos: factibilidad de las entregas por conducciones. • Duración de la demanda, duración del contrato de suministro. • Obligaciones para la disponibilidad del suministro. • Condiciones del vapor o agua caliente: presión, temperatura, caudal, retorno de condensados. • Curva de demanda estacional. • Influencia de las subvenciones en los aspectos económicos. • Participación de los clientes en la financiación de la planta. <p>Electricidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Red nacional o red industrial, consumo propio de la planta, consumo propio del cliente. • Influencia de las tarifas eléctricas en las inversiones. • Las subvenciones o préstamos a bajo interés pueden hacer aumentar las inversiones. • Requisitos técnicos: tensión, potencia, disponibilidad de la conexión a la red.
Condiciones locales	<ul style="list-style-type: none"> • Medio de refrigeración escogido: aire o agua. • Condiciones meteorológicas actualizadas. • Aceptabilidad de una pluma de vapor de agua. • Disponibilidad de una fuente de agua fría.
Calor y energía combinados (cogeneración)	<ul style="list-style-type: none"> • Reparto estacional. • Evolución futura del reparto estacional.
Otros aspectos	<ul style="list-style-type: none"> • Elección entre: aumento de la producción de energía, reducción de las inversiones, complejidad operativa, requisitos de disponibilidad, etc. • Niveles acústicos aceptables. • Espacio disponible. • Restricciones arquitectónicas.

Se han seleccionado algunas mejores técnicas disponibles (números 29 y 31 en la tabla 4.6) y sus aplicabilidades específicas son:

- Optimización de los parámetros del vapor: se puede aplicar en todos los incineradores que sólo recuperan electricidad, o en los que la proporción de calor en plantas de cogeneración es baja, para aumentar la generación de electricidad. La técnica tiene una aplicabilidad limitada en procesos que tienen opciones fiables de suministro de vapor o calor.
- Casos en que la generación de electricidad es preferente: cuando la generación de electricidad tiene una prioridad baja la presión de salida de la turbina puede ser superior a la atmosférica. A menudo el único tipo de condensador aplicable es el refrigerado por aire (CRA). Los hidrocondensadores de ciclo abierto sólo están indicados en lugares donde hay un suministro abundante de agua que pueda tolerar el efecto de calentamiento de los vertidos posteriores.

4.3.6. Selección de las turbinas

El proceso de incineración puede realizarse con diferentes tipos de turbinas. Los más habituales son:

- Turbinas de contrapresión: se usan cuando puede suministrarse a los clientes una cantidad significativa y posiblemente constante de calor.
- Turbinas de condensación: se usan cuando no existen posibilidades, o éstas son escasas, de suministrar calor a los clientes y la energía recuperada debe convertirse en electricidad.
- Turbinas de condensación de extracción: se trata de turbinas de condensación con una extracción de vapor destacable a presión intermedia para algún propósito. Casi siempre existe algo de extracción, de forma que puedan suministrarse a los clientes cantidades significativas y variables de calor o de vapor.
- Turbinas de condensación de doble etapa: calientan el vapor entre las dos etapas usando parte del vapor de entrada para sobrecalentar el vapor en la segunda etapa, con el objetivo de alcanzar una mayor producción de energía a bajas temperaturas de condensación.

Se ha seleccionado una MTD (n.º 30 en la tabla 4.6) relacionada con estos aspectos:

- Selección de una turbina: la selección de la turbina debe realizarse al mismo tiempo que las demás características del ciclo de vapor y depende más de los aspectos externos que el proceso de incineración.

4.3.7. Eficiencia energética de los incineradores de residuos

En la eficiencia energética están implicadas las entradas y salidas de electricidad.

Las entradas energéticas hacia los incineradores que deben tenerse en cuenta al considerar la eficiencia energética son las siguientes:

- Entrada de electricidad: las plantas pueden escoger exportar toda la electricidad generada por el incinerador, especialmente cuando los incentivos económicos apoyan la producción de energía eléctrica a partir de la incineración, e importar de la red la energía necesaria para el funcionamiento del proceso de incineración.
- Entrada de vapor, calor o agua caliente: en el proceso se puede usar vapor, calor o agua caliente. La fuente puede ser externa o bien de recirculación.
- Se consumen combustibles convencionales para: garantizar que se mantengan las temperaturas necesarias en la cámara de combustión; aumentar la temperatura de la cámara de combustión hasta el valor necesario antes de introducir residuos en la planta; aumentar la temperatura de los gases de combustión para evitar el uso de filtros de mangas y la corrosión y para suprimir la visibilidad de la pluma; precalentar el aire de combustión y calentar los gases de combustión para su tratamiento en dispositivos específicos, como la reducción catalítica selectiva (RCS) o filtros de tela.

La salida de energía de los incineradores de residuos es:

- Electricidad: el proceso de incineración puede hacer uso de parte de la electricidad producida.
- Combustible: en las plantas de gasificación o pirólisis se producen combustibles –como gas sintético– que pueden exportarse o quemarse en la instalación con o sin recuperación de la energía.
- Vapor y agua caliente: a menudo, el calor liberado en la combustión de los residuos se recupera con un objetivo beneficioso, como proporcionar vapor o agua caliente a usuarios industriales o domésticos para la generación de electricidad externa o incluso como fuerza motriz de sistemas de refrigeración. Las plantas de cogeneración proporcionan a la vez calor y electricidad.

4.3.8. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: pretratamiento de la alimentación de residuos

Hay dos categorías básicas de técnicas de pretratamiento relevantes para la recuperación de energía: la homogeneización y la extracción-separación:

La homogeneización de los residuos mezcla los residuos recibidos en la planta mediante técnicas físicas para obtener una materia con la que alimentar que tenga cualidades de combustión consistentes.

La extracción-separación implica eliminar determinadas fracciones de los residuos antes de introducirlos en la cámara de combustión. Las técnicas son muy diversas, desde procesos físicos extensivos para producción de combustible derivado de desechos (CDD) y la combinación de residuos líquidos para obtener criterios de calidad específicos, hasta la simple localización y extracción, por parte de los operarios de las grúas, de piezas grandes no adecuadas para la combustión, como bloques de hormigón o grandes objetos metálicos.

4.3.9. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: calderas y transferencia de calor

Las calderas de agua tubulares se suelen usar para la generación de vapor y agua caliente a partir del potencial energético de los gases de combustión calientes. El vapor o el agua caliente se generan, habitualmente, en haces de tubos situados en el paso de los gases de combustión. El recubrimiento del horno, los pasos siguientes vacíos y el espacio donde se sitúan los haces de sobrecalentamiento suelen estar diseñados con paredes de membrana refrigeradas por agua.

Unos parámetros del vapor superiores aumentan la eficiencia de la turbina y favorecen una mayor producción de electricidad por tonelada de residuos quemados. Sin embargo, a causa de la naturaleza corrosiva de los gases emitidos por los residuos durante el quemado, los incineradores no pueden usar las mismas temperaturas y presiones que algunos generadores de energía primarios.

En las calderas de circulación se usan refrigeradores por pulverización o superficiales para mantener la temperatura exacta del vapor necesaria. Su función es equilibrar las fluctuaciones de la temperatura del vapor, consecuencia de las fluctuaciones en la carga, cambios en la calidad de los residuos, exceso de aire o contaminación de las superficies calefactoras.

La preparación del agua de alimentación y de sustitución es básica para un funcionamiento efectivo y para reducir la corrosión dentro de los tubos o el riesgo de daños en la turbina. La calidad del agua de la caldera debe ser superior si se incrementan los valores de los parámetros del vapor.

4.3.10. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: precalentamiento del aire de combustión

El precalentamiento del aire de combustión es especialmente ventajoso para ayudar a la combustión de residuos con un gran contenido de humedad. El suministro de aire precalentado seca los residuos, lo que facilita su ignición. El calor puede obtenerse a partir de la combustión de los residuos mediante sistemas intercambiadores de calor.

4.3.11. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: parrillas refrigeradas por agua

La refrigeración por agua de las parrillas se usa para protegerlas. El agua se utiliza como medio refrigerante para capturar el calor del lecho de residuos en cremación y usarlo en alguna otra etapa del proceso. Es habitual que el calor extraído se vuelva a introducir en el proceso para el precalentamiento del aire de combustión o la calefacción del condensado. Otra opción es integrar directamente la refrigeración de aire en el circuito de la caldera, al estilo de un evaporador.

Estas parrillas se usan cuando el valor calorífico neto de los residuos es elevado, habitualmente superior a 10 MJ/kg. Su aplicación es más limitada cuando los valores caloríficos son menores.

La aplicabilidad específica de la mejor técnica disponible (n.º 33 en la tabla 4.6) es:

- Sistemas de refrigeración: la selección del sistema de refrigeración depende de los aspectos sanitarios y ambientales locales, así como de la importancia relativa de los efectos transversales asociados. La refrigeración por agua mediante convección no es aplicable en contextos geográficos secos y de interior.

4.3.12. Reducción de la presión del condensador

Tras abandonar la sección de baja presión de la turbina de vapor, éste se condensa en los condensadores y el calor se transfiere a un fluido refrigerante. En general, el agua condensada a partir del vapor se hace recircular y se usa como agua de alimentación de la caldera.

La temperatura de la fuente fría en la salida de la turbina es importante para su productividad. Cuanto más fría sea la fuente, mayor será la disminución de entalpía y, por tanto, mayor la generación de energía. Debido a las condiciones climáticas, resulta evidente que es más fácil lograr esta baja presión en climas más fríos. Por consiguiente, no es una técnica que pueda usarse ampliamente en la región mediterránea.

4.3.13. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: condensación de los gases de combustión

El agua de los gases de combustión se presenta en forma de agua libre evaporada del combustible y agua de reacción de la oxidación del hidrógeno, así como al vapor de agua en el aire de combustión. Al quemar los residuos, el contenido en agua de los gases de combustión tras la caldera y el economizador se sitúan entre el 10 y el 20 % de volumen, lo que corresponde a un punto de condensación del agua de unos 50 - 60 °C. Durante la limpieza de la caldera con vapor, el contenido en agua de los gases de combustión aumenta a un 25 % aproximadamente.

La mínima temperatura posible del gas seco en este punto es de 130 a 140 °C con una caldera de material normal. Esta temperatura viene determinada, básicamente, para que esté por encima del punto de condensación ácido, asociado al contenido en SO₃ y en H₂O de los gases de combustión.

4.3.14. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: bombas de calor

El objetivo principal de las bombas de calor es transformar energía de un valor de temperatura a otro superior. En las instalaciones de incineración hay tres tipos de bombas de calor: bombas de calor controladas por compresor, bombas de calor de absorción y bombas de calor abiertas.

Bombas de calor controladas por compresor: se instalan, por ejemplo, en refrigeradores, aparatos de aire acondicionado, congeladores, deshumidificadores y en bombas de calor usadas para calefacción con energía procedente de rocas, el suelo, el agua y el aire. Normalmente un motor eléctrico hace funcionar la bomba, pero para instalaciones grandes se pueden usar compresores impulsados por turbinas de vapor. En un circuito cerrado, se hace circular una sustancia refrigerante a través de un condensador, un expansor, un evaporador y un compresor. El cociente entre el calor extraído y la potencia del compresor puede llegar a ser de 5.

Bombas de calor de absorción: son parecidas a las de compresores. Funcionan con agua en un circuito cerrado con un generador, un condensador, un evaporador y un absorbedor. En lugar de compresión, para mantener la circulación se usa absorción de agua en una solución salina, normalmente bromuro de litio, en el absorbedor. El cociente entre el calor extraído y la potencia del absorbedor es de aproximadamente 1:6.

Bombas de calor abiertas: el principio de funcionamiento es disminuir el contenido en agua de los gases de combustión después del condensador, mediante un intercambiador de calor y humedad con aire como medio intermediario. Un mayor contenido en agua del combustible en el condensador significa un punto de condensación del agua superior, y una mayor diferencia entre éste y el punto de condensación del agua de retorno procedente del sistema de calefacción centralizado.

4.3.15. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: recirculación de los gases de combustión

Una parte de los gases de combustión –aproximadamente de entre 10 y 20 % del volumen– se hace recircular, normalmente tras pre-desempolvarlo, para sustituir la alimentación de aire secundario en la cámara de combustión. Se ha informado de que esta técnica reduce las pérdidas térmicas en los gases de combustión y aumenta la energía del proceso entre un 0,75 % y un 2 %. También se informa de ventajas adicionales en forma de reducción primaria de NO_x. El revestimiento calorífugo de los conductos de recirculación parece proporcionar una solución efectiva contra los problemas de corrosión en este campo.

Estas técnicas son aplicables a todos los incineradores de residuos con calderas, incluso en la región mediterránea (MTD n.º 34 en la tabla 4.6).

4.3.16. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: recalentamiento de los gases de combustión a las temperaturas operativas de los dispositivos de TGC

Determinados equipos de control de la contaminación atmosférica requieren el recalentamiento de los gases de combustión para un funcionamiento efectivo. Ejemplo de esto son los sistemas RCS y los filtros de mangas, que normalmente necesitan temperaturas del orden de 250 °C y 120 °C respectivamente. La energía para el calentamiento de los gases puede obtenerse de fuentes de energía externas y del uso de calor o energía generados en el proceso. El uso de intercambiadores de calor para volver a capturar el calor tras su uso por el equipo reduce la necesidad de aportaciones externas de energía. Ello se realiza cuando la siguiente etapa del proceso no necesita que la temperatura de los gases de combustión sea tan alta como la obtenida en equipos situados antes en el proceso.

La aplicabilidad específica de algunas de estas MTD (números 38 y 39 en la tabla 4.6) es:

- Evitar el aumento asociado de consumo eléctrico:
 - a) Aplicación de un sistema adicional de refinamiento de los gases de combustión: la eliminación adicional de metales pesados aumenta la adecuación cuando éstos requieren una reducción mayor. Las plantas más grandes con flujos más elevados pueden lograr mayores reducciones en las contribuciones locales a las emisiones. Se trata de una técnica de final de línea, adecuada para modificaciones que requieren reducción de polvos. Las plantas existentes que ya consiguen unos niveles de emisión bajos por otros medios no conseguirían muchos más beneficios con la adición de esta técnica.
 - b) Aplicación de filtrado de doble manga: se puede aplicar a cualquier proceso de incineración, pero es más aplicable allí donde se establecen valores límite de emisión de polvo muy bajos o se desea una separación de los componentes residuales del TGC.
- Reducción del consumo de reactivos de TGC y de la producción de restos en el TGC:
 - a) Uso de control de gases ácidos para optimización del proceso de TGC: es especialmente adecuado para procesos de TGC secos, semihúmedos e intermedios con una gran variabilidad en las concentraciones de entrada de gases ácidos. Las plantas más pequeñas son las que pueden resultar más beneficiadas, ya que las entradas de residuos erráticas pueden ejercer mayor influencia en sistemas con producciones menores. Es adecuado para procesos nuevos y ya existentes, pero especialmente para modificaciones en las que puede optimizarse aún más el control de gases ácidos.
 - b) Recirculación de los restos del TGC en el sistema de TGC: es aplicable para todos los tipos de residuos, excepto cuando las concentraciones de entrada son muy variables; por ejemplo en el caso de residuos comerciales peligrosos, a no ser que se use en combinación con otro sistema adecuado para estos contaminantes. No hay restricciones específicas para plantas nuevas o ya existentes.

4.3.17. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: reducción de la visibilidad de la pluma

En algunos lugares, la sensibilidad ante las plumas visibles es considerable. Determinadas técnicas, como el lavado húmedo, también provocan valores más altos de humedad en los gases de combustión y, por tanto, aumentan la posibilidad de plumas muy visibles. Una baja temperatura ambiental y unos valores elevados de humedad provocan un aumento del riesgo de condensación de la pluma y, por tanto, de su visibilidad. El aumento de la temperatura de los gases de combustión constituye una manera de reducir la visibilidad de la pluma, así como de mejorar las características dispersivas de la emisión. En función del contenido de humedad de los gases de combustión y de las condiciones atmosféricas, la visibilidad de la pluma se reduce considerablemente con unas temperaturas de emisión en la chimenea superiores a 140 °C. Esto puede lograrse seleccionando tratamientos alternativos de los gases de combustión o bien usando lavadores de condensación para eliminar el agua de los gases de combustión.

4.3.18. Técnicas aplicadas para mejorar la recuperación energética: mejora del ciclo del vapor

La selección del ciclo del vapor supondrá, en general, un impacto mucho mayor en la eficiencia energética de la instalación que la mejora de los elementos individuales del sistema y, por tanto, ofrece las mejores oportunidades para un mayor uso de la energía en los residuos. Debe aplicarse en la región mediterránea.

4.3.19. Limpieza eficiente de los haces de convección

La correcta limpieza de las conducciones y otras superficies de intercambio de calor de la caldera conlleva un mejor intercambio térmico, así como también puede reducir el riesgo de formación de dioxinas en la caldera.

La limpieza puede realizarse en línea (durante el funcionamiento de la caldera) y fuera de línea (durante las paradas y períodos de mantenimiento). Las dimensiones de la caldera y el diseño del intercambiador –como, por ejemplo, el espaciado entre tubos– influyen en el programa de limpieza.

Las técnicas de la limpieza en línea son:

- Golpeado mecánico.
- Soplado de hollín por inyección de vapor.
- Pulverización de agua a baja o alta presión (principalmente en la pared de los pasos vacíos de la caldera).
- Limpieza por ultrasonidos o infrasonidos.
- Decapado mecánico o limpieza de granalla.
- Limpieza explosiva.
- Inyección de aire a alta presión con lanzas móviles.

Entre las técnicas de limpieza fuera de línea se encuentran:

- Limpieza manual periódica.
- Limpieza química.

Además de estas técnicas, puede resultar beneficioso evitar el contacto de gases de alta temperatura –cuando las cenizas volantes son más adherentes y, por tanto, tienen mayor probabilidad de adherirse a cualquier superficie con la que entren en contacto– con los haces de intercambio de calor por convección, mediante:

- la inclusión de pasos vacíos sólo con paredes de agua,
- el uso de hornos de grandes dimensiones y, en consecuencia, de menores velocidades de los gases antes de los haces.

4.4. GENERADORES DE VAPOR Y EXTINCIÓN POR ENFRIAMIENTO BRUSCO PARA INCINERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS

Existen principalmente dos métodos para enfriar los gases de combustión de incineradores de residuos peligrosos: las calderas de recuperación de calor y la extinción por enfriamiento brusco.

Calderas de recuperación de calor en instalaciones de incineración de residuos peligrosos: los gases de combustión calientes se enfrían en un generador de vapor, o caldera, con una capacidad entre 16 MW y 35 MW según la instalación. El vapor generado tiene una presión de 13 a 40 bar, con una temperatura situada entre los 207 y los 385 °C. Diversos factores influyen en la eficiencia de los generadores de vapor usados en los incineradores de residuos peligrosos, como la composición del gas y el potencial de deposición en las superficies intercambiadoras de calor. Esto tiene una influencia significativa en los materiales de construcción usados y en el diseño, así como en la vida operativa y el rendimiento del equipo. En algunas instalaciones el vapor se utiliza en una turbina para producir electricidad. El vapor también puede transportarse para su uso directo en procesos industriales, como la fabricación de productos químicos, en otros procesos de tratamiento de residuos o en sistemas de calefacción centralizada. A veces incluso se opta por combinaciones de estas soluciones.

Extinción por enfriamiento brusco: algunas instalaciones no están equipadas con una caldera, pero se reduce la temperatura de los gases de combustión mediante una extinción por enfriamiento brusco. De esta forma se evita la formación de dioxinas y, consecuentemente, la necesidad de instalar un método de eliminación de dioxinas a final de línea. Estas instalaciones se denominan «extintores» y se han adoptado en algunas plantas en las que se trata una gran variedad de residuos muy halogenados. Esta técnica limita las posibles opciones de recuperación de energía.

En la tabla 4.7 se describen las ventajas e inconvenientes de ambos enfoques.

Tabla 4.7: Ventajas e inconvenientes de los sistemas de refrigeración de gases

Sistema de refrigeración de gases	Ventajas	Inconvenientes
Caldera de recuperación de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Es posible una gran eficiencia de recuperación de energía (el 70 - 80 % se puede convertir en vapor). • Menor consumo de agua y menores volúmenes de tratamiento de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible aumento del riesgo de reformación de dioxinas en la caldera. • Costes de capital y mantenimiento adicionales para el sistema de la caldera.
Extinción por enfriamiento brusco	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del riesgo de reformación de dioxinas. • Se puede reducir la necesidad de controles adicionales de dioxinas en las emisiones a la atmósfera. • Con esta técnica se pueden tratar residuos con una mayor variedad de cargas de halógenos o sales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de energía muy limitada. • El consumo de agua puede ser superior. • Los volúmenes de tratamiento de agua pueden ser superiores.

4.5. TRATAMIENTO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN (TGC) Y SISTEMAS DE CONTROL APLICADOS

Este capítulo está dividido en dos partes. Una se refiere al tratamiento de los gases de combustión y la otra a las técnicas para controlar las emisiones de partículas, gases ácidos, NO_x, dioxinas y furanos, mercurio y metales pesados, compuestos orgánicos y gases de invernaderos, entre otros. La siguiente tabla (tabla 4.8) presenta la selección de las mejores técnicas disponibles relacionadas.

Las técnicas y prácticas dirigidas a la reducción del tratamiento de los gases de combustión, y especialmente a la de las emisiones de PCDD/F, son fundamentales en todas las instalaciones incineradoras y, por consiguiente, es esencial la aplicación de las más apropiadas, también en la región mediterránea.

Tabla 4.8: MTD para el tratamiento de los gases de combustión y sistemas de control

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
35.- Uso de un sistema global de tratamiento de los gases de combustión (TGC) que, en general, al combinarlo con el conjunto de la instalación, proporcione los niveles operativos de emisión que aparecen en la tabla 5.2 (BREF de incineración de residuos [3]) para emisiones a la atmósfera asociadas al uso de las MTD.	Amplitud de los niveles operativos de emisión asociados al uso de las MTD para emisiones a la atmósfera (BREF de incineración de residuos [3], tabla 5.2)	n. d.
36.- Tener en cuenta, al seleccionar el sistema global de TGC, los factores generales, los impactos potenciales sobre el consumo de energía de la instalación y las cuestiones adicionales sobre la compatibilidad global del sistema que puedan surgir cuando se modernizan las instalaciones existentes.	Véase MTD n.º 15.	Véase MTD n.º 15.
37.- Al elegir entre un sistema de TGC húmedo, semihúmedo o seco, tener en cuenta los criterios generales de selección tal como se muestran a modo de ejemplo en la tabla 5.3 (BREF de incineración de residuos [3]).	Ejemplo de evaluación de algunos criterios relevantes de IPPC que pueden tenerse en cuenta (BREF de incineración de residuos [3], Tabla 5.3)	n. d.
40.- Utilización de medidas primarias de reducción de los NO _x para disminuir su producción, junto con una RCS o RNCS, según la eficacia requerida para la reducción de los gases de combustión.	Véase MTD n.º 36.	Véase MTD n.º 36.
41.- Para la reducción de las emisiones globales de PCDD/F en todos los medios se usan: <ul style="list-style-type: none"> Técnicas para mejorar el conocimiento de los residuos y su control. 	<p>a) n. d.</p> <p>b) Esto disminuye el riesgo de producción de PCDD/F durante el proceso y, por lo tanto, las emisiones posteriores.</p>	<p>a) n. d.</p> <p>b) No tiene implicaciones significativas para el coste de los nuevos procesos, pero puede requerir inversiones muy</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas primarias para destruir los PCDD/F de los residuos y sus posibles precursores. • Diseños de la instalación y controles operativos que eviten que se den las condiciones que podrían provocar la reformación o generación de PCDD/F. <p>Las técnicas que pueden usarse son:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Técnicas primarias para la prevención de PCDD/F. b) Prevención de la reformación de PCDD/F en el sistema de TGC. c) Adsorción de los PCDD/F mediante inyección de carbón activado u otros reactivos. d) Adsorción de los PCDD/F en lechos estáticos e) Destrucción de los PCDD/F mediante reducción catalítica selectiva (RCS). f) Destrucción de los PCDD/F usando bolsas filtrantes catalíticas. 	<ul style="list-style-type: none"> c) El carbón activado adsorbe los PCDD/F y se obtienen emisiones inferiores a 0,1 mg/Nm³ EQT. También se adsorbe el mercurio metálico. d) Reducción de las emisiones a la atmósfera de la siguiente forma: se adsorben los PCDD/F para obtener emisiones gaseosas limpias por debajo de 0,1 ng/Nm³ EQT, se adsorbe el Hg para producir emisiones inferiores a 50 µg/Nm³, normalmente por debajo de 30 µg/Nm³ y el polvo se recoge en el filtro. e) Se observa un 98-99,9 % de eficacia de destrucción de los PCDD/F en fase gaseosa, obteniéndose emisiones de PCDD/F por debajo de 0,1 ng/Nm³ EQT y más a menudo en el rango de 0,5-0,02 ng/Nm³ EQT. f) Se registra una eficacia de destrucción del 99 % de los PCDD/F que entran en las bolsas filtrantes catalíticas de la IRSM. Las concentraciones de entrada de 1,9 ng/Nm³ producen unas emisiones de concentración inferior a 0,02 ng/Nm³ EQT. Los filtros también eliminan el polvo. Se ha observado también que la emisión total de dioxinas de la instalación a todos los medios disminuye por destrucción, más que por adsorción (con carbón activado). 	<p>importantes de capital por lo que respecta a los procesos existentes, debido al reemplazo de la caldera y los sistemas de tratamiento de los gases de combustión.</p> <ul style="list-style-type: none"> c) Parece ser que el coque de lignito es más barato que el carbón activado. Se dice también que, en general, el consumo del primero es más elevado (hasta el doble) que el del segundo. d) Se estima que el coste de la inversión para un filtro de coque de 100 000 t/año es de 1,2 millones de EUR. El coste de la inversión para un filtro húmedo de lecho estático (vacío), de una línea de incineración de 50 000 t/año, es aproximadamente de 1 millón de EUR (equipamiento y obras públicas). e) n.d. f) El aspecto clave del coste de esta técnica es el aumento de los costes de inversión de las bolsas respecto a las bolsas no catalíticas. El coste medio es de 300 EUR/m², un coste inferior al de la RCS, pero con una eficacia de destrucción similar y la necesidad de tomar precauciones adicionales para la eliminación del Hg.
<p>42.- Cuando se use un lavador húmedo, efectuar una evaluación de la acumulación de PCDD/F en el lavador y adoptar las medidas adecuadas para hacer frente a dicha acumulación y prevenir escapes a través del lavador.</p>	<p>n. d.</p>	<p>n. d.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>44.- Para el control de las emisiones de Hg, cuando los lavadores constituyan el único o el principal medio efectivo para el control de las emisiones totales de Hg:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de una primera etapa de pH ácido con la adición de reactivos específicos para la eliminación del Hg iónico. • Inyección de carbón activado. • Filtros de carbón activado o coque. <p>Las técnicas que se pueden usar son:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Lavado húmedo de pH ácido e incorporación de aditivos. b) Adición de peróxido de hidrógeno en los lavadores húmedos. c) Inyección de dióxido de cloro para el control del Hg elemental. d) Inyección de carbón activado para adsorber el Hg. e) Uso de filtros estáticos de carbón activado o coque. 	<ol style="list-style-type: none"> a) La eficacia global de la eliminación de Hg se sitúa alrededor del 85 %. El impacto de la concentración de Hg en el residuo incinerado y el contenido de Cl son decisivos para determinar los niveles finales de emisión alcanzados. b) Una reducción adicional de la concentración de todas las clases de mercurio en los gases de combustión (junto con el carbón activado se consigue una eficacia de eliminación de aprox. 99,5 %), así como la disminución de HCl y SO₂. c) Esto reduce las emisiones de Hg. y tiene como ventaja secundaria la reducción de NOx. d) Se adsorbe el Hg metálico (habitualmente con una eficacia de eliminación de aprox. 95 %) para producir unas emisiones a la atmósfera inferiores a 30 µg/Nm³. El mercurio iónico también se elimina mediante la adsorción química provocada por el azufre de los gases de combustión o por el azufre impregnado en algunos tipos de carbón activado. El carbón también adsorbe las dioxinas. e) Reducción de las emisiones a la atmósfera, por ejemplo: el Hg se adsorbe y se obtienen emisiones inferiores a 50 µg/Nm³, habitualmente por debajo de 30 µg/Nm³ y el filtro recoge el polvo. 	<ol style="list-style-type: none"> a) n. d. b) El coste de una instalación con una capacidad de 200 000 t de residuos es de aprox. 4 millones de EUR. Se ha informado de que el H₂O₂ es costoso y su consumo puede resultar difícil de controlar. c) El coste del reactivo es el factor limitante. d) Los costes adicionales de capital de la técnica, para los procesos que ya tienen o pretenden usar inyección de reactivos y filtros de mangas, son mínimos. Los costes operativos adicionales provienen del consumo de reactivos y de la eliminación de los residuos. Para una instalación que trate 65 000 t de RP al año, el coste de las operaciones (coste de carbón) asciende a aprox. 125 000 EUR/año. e) Se ha estimado el coste de la inversión para un filtro de coque, de una IRSM de 100 000 t/año, en 1,2 millones de EUR.
<p>45.- Para el control de las emisiones de Hg cuando se utilizan sistemas TGC semihúmedos y secos, usar carbón activado u otros reactivos adsorbentes eficaces para la adsorción de PCDD/F y Hg, controlando la dosis del reactivo por unidad de tiempo, de manera que las emisiones finales a la atmósfera estén dentro de los rangos de emisión de las MTD establecidos para el Hg.</p>	<p>Véase la MTD n.º 44.</p>	<p>Véase la MTD n.º 44.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>48.- Cuando se usa un tratamiento húmedo de gases de combustión:</p> <p>a) Utilizar un tratamiento fisicoquímico <i>in situ</i> del efluente del lavador antes de su vertido.</p> <p>b) Tratar por separado las corrientes de aguas residuales ácidas y alcalinas provenientes de las etapas de lavado cuando existan condicionantes especiales para la reducción adicional de las emisiones al agua o se deba realizar el reciclado del HCl o del yeso.</p> <p>c) Hacer recircular el efluente del lavador húmedo dentro del sistema de lavado y utilizar la conductividad eléctrica del agua recirculada como medida de control.</p> <p>d) Proporcionar almacenamiento y capacidad tampón para el efluente del lavador para que el proceso de tratamiento de aguas residuales sea más estable.</p> <p>e) Usar sulfuros u otros aglomerantes de Hg para reducir el Hg y otros metales pesados en el efluente final.</p> <p>f) Cuando se usa la RNCS junto con el lavado húmedo, se pueden reducir los niveles de NH₃ en el vertido de efluente aplicando una extracción de volátiles de NH₃. A su vez, el NH₃ recuperado se recicla usándolo como agente reductor de NO_x.</p>	<p>a) Gracias a la aplicación de sulfuros para aumentar la precipitación de metales pesados en el efluente del lavado húmedo se puede conseguir una disminución del 99,9 % de los niveles de Hg en los efluentes tratados y reducir los niveles de emisión de Hg al agua por debajo de los 0,003 mg/l.</p> <p>b) Las emisiones al agua se pueden reducir más que con el tratamiento combinado. La optimización de las corrientes separadas disminuye el consumo de reactivos y permite un tratamiento dirigido. El yeso se puede reciclar a partir de los lavadores de azufre, lo que disminuye los vertidos de azufre en las aguas residuales y el contenido de azufre en los restos sólidos de las plantas de tratamiento de efluentes (PTE). Se puede regenerar el HCl a partir de lavadores ácidos de primera etapa</p> <p>c) Reducción del consumo de agua por parte de los lavadores húmedos. También disminuye la demanda de agua dulce y efluente en las plantas recolectoras.</p> <p>d) Las menores emisiones al agua, la mejora de la estabilidad y de la confianza en el proceso de tratamiento y la optimización de éste último pueden ocasionar un menor consumo relacionado con el tratamiento del efluente.</p> <p>e) n. d.</p> <p>f) Reducción del NH₃ en el efluente del lavador vertido y reducción del consumo de NH₃ cuando se recircula como reactivo reductor de NO_x.</p>	<p>a) Los aditivos y reactivos pueden ser costosos.</p> <p>b) Los costes operativos y de capital para la segunda PTE pueden ser compensados parcialmente gracias al coste reducido de la eliminación cuando se reciclan el yeso y las sales como el NaCl o CaCl.</p> <p>c) n. d.</p> <p>d) Es necesario proporcionar volúmenes más grandes para la capacidad tampón y de rendimiento del tratamiento de aguas residuales.</p> <p>e) n. d.</p> <p>f) Los costes operativos y de capital para el extractor de volátiles de amoníaco pueden ser compensados parcialmente gracias a la reducción del coste de los reactivos cuando el amoníaco recuperado se recicla en la inyección de reactivo de la RNCS.</p>

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>49.- Utilizar una combinación apropiada de las técnicas que mejoran el quemado de los residuos para conseguir un valor COT inferior al 3 % en peso en los restos de cenizas. Para ello se recomienda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de una combinación de diseño del horno, funcionamiento y tasa de producción de residuos que proporcione una agitación y un tiempo de residencia adecuados a temperaturas lo suficientemente altas. • Uso de hornos diseñados para retener físicamente los residuos dentro de la cámara de combustión y permitir así su combustión. • Uso de técnicas para la mezcla y pretratamiento de los residuos (MTD n.º 11). • Optimización y control de las condiciones de combustión. <p>Las técnicas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Mejora del quemado de las cenizas de horno. b) Selección de la tecnología de combustión. c) Aumento del tiempo de agitación y de residencia. d) Ajuste del rendimiento para mantener unas buenas condiciones de quemado y combustión. e) Reducción de la tasa de residuos que traspasan la parrilla y/o retorno de los residuos fríos a la cámara de combustión. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Esto reducirá el contenido de carbón residual y por tanto el COT. b) n. d. c) Reducción eficaz de residuos, características de los residuos sólidos mejoradas y una mayor extracción del valor energético de los residuos. d) Esto garantiza que los residuos se destruyan correctamente y que los que se producen sean de mejor calidad. e) Un mejor quemado de los residuos y una mejor calidad de las cenizas. 	<ul style="list-style-type: none"> a) El pretratamiento básico de los residuos no resulta caro. b) n. d. c) No es caro en las nuevas instalaciones, pero sí en las plantas ya existentes. d) La restricción del rendimiento de los residuos puede producir un menor ingreso en concepto de eliminación de residuos. e) Puede haber costes importantes de inversión al modernizar las plantas existentes, además de costes operativos extra.

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>51.- Cuando se inicia una etapa previa de desempolvado, debe comprobarse la composición de las cenizas volantes recogidas para evaluar si se pueden reciclar, ya sea directamente o después de un tratamiento, en vez de eliminarlas.</p> <p>Las técnicas que se pueden usar son:</p> <p>a) Separación de la fase de eliminación del polvo de los otros tratamientos de gases de combustión.</p> <p>b) Aplicación de un sistema adicional de limpieza de los gases de combustión.</p>	<p>a) Es posible disminuir la producción total de dioxinas (PCDD/F) en el proceso reduciendo la producción de residuos sólidos mediante la recirculación de las cenizas volantes hacia el combustor. Los tratamientos no térmicos para las cenizas volantes no cambian, en general, el balance de masa global de PCDD/F, pero concentran las PCDD/F en cantidades más pequeñas de residuos.</p> <p>b) Reducción de las emisiones a los flujos de gases de combustión mediante la reducción de la carga de partículas durante los procesos posteriores de TGC. La separación de las cenizas volantes de los residuos TGC permite disminuir la producción de estos últimos y separar el tratamiento de las cenizas volantes para posibles usos de reciclado.</p>	<p>a) El coste de los procesos adicionales se puede compensar con la reducción de los costes de la eliminación de los residuos de TGC.</p> <p>b) Los aspectos económicos clave son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de los costes de capital e inversión para las unidades de procesamiento adicionales. • Aumento de los costes energéticos, especialmente para el filtrado de mangas. • Posibles reducciones del coste de la eliminación cuando se dispone de salidas separadas para las cenizas volantes. • Posible aumento del coste de manipulación de corrientes de residuos adicionales.
<p>75.- Para aquellos residuos de composición altamente variable que llegan a los IRP para uso comercial y a otros incineradores de residuos peligrosos, se deben usar:</p> <p>a) El TGC húmedo, que es generalmente una MTD que se aplica para mejorar el control de las emisiones a la atmósfera a corto plazo.</p> <p>b) Técnicas específicas para la reducción de las emisiones de yodo y bromo elementales, cuando dichas sustancias se encuentren en los residuos en concentraciones apreciables.</p>	<p>a) Esto reduce las emisiones a la atmósfera. Los sistemas húmedos de TGC proporcionan la eficacia más alta de eliminación para los gases ácidos solubles de todos los sistemas TGC con los niveles más bajos en el exceso de factores estequiométricos.</p> <p>b) Un gas de combustión de color marrón amarillento o púrpura puede verse en aquellos casos en que concentraciones apreciables de bromo o yodo, respectivamente, pasan a través del sistema de TGC. La adición dirigida o regular de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ previene este efecto.</p>	<p>a) Costes de inversión de capital superiores a los de otros sistemas, debido principalmente a la planta de tratamiento de efluentes y al mayor número de unidades de procesamiento requeridas. Los costes operativos relacionados con la eliminación de los residuos pueden ser más bajos.</p> <p>b) Los costes de construcción de un tercer paso de lavado en un IRP existente ascienden a 600 000 EUR aproximadamente. El consumo anual de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ para cada línea del incinerador es de aprox. 50 t (0,5 EUR/t).</p>

4.5.1. Aplicación de las técnicas de TGC

Los sistemas de tratamiento de los gases de combustión están formados por una combinación de

unidades de procesamiento individuales que, en conjunto, proporcionan un sistema de tratamiento global para los gases de combustión.

Los componentes individuales de un sistema de TGC se combinan para ofrecer un sistema global eficaz para el tratamiento de los contaminantes que se encuentran en los gases de combustión. Existen múltiples componentes individuales y diseños que pueden combinarse de muchas maneras diferentes.

En las subsecciones siguientes se tienen en cuenta algunas indicaciones relacionadas con estos tratamientos. Se han seleccionado algunas MTD (números 35, 36, 74 y 48 de la tabla 4.8) como medidas relacionadas con el tratamiento de los gases de combustión. En principio, estas técnicas se pueden aplicar dentro de la región mediterránea. La aplicabilidad específica se describe más abajo:

- Para los residuos que alimentan los IRP para uso comercial y otros incineradores de residuos peligrosos:
 - a) El TGC húmedo es generalmente una MTD que se recomienda para mejorar el control de las emisiones a la atmósfera a corto plazo. Puede aplicarse a cualquier tipo de residuo, pero es especialmente apropiado para composiciones de los gases de entrada altamente variables (p. ej. residuos peligrosos). Puede aplicarse también en plantas de cualquier tamaño, pero normalmente se hace en las plantas medianas y grandes que tienen economías de escala.
 - b) Técnicas específicas para la reducción de las emisiones de yodo y bromo elementales: estas técnicas se aplican principalmente en los IRP o en otras instalaciones donde las concentraciones de bromo y yodo en los residuos incinerados son altamente variables o difíciles de predecir y controlar.
- Donde se usa el tratamiento húmedo de los gases de combustión:
 - a) Uso de un tratamiento fisicoquímico *in situ*: es aplicable en todas las instalaciones incineradoras de residuos con lavado húmedo. También se puede aplicar a otras corrientes de aguas residuales que requieren dicho tratamiento antes de su vertido.
 - b) Tratamiento separado de las corrientes de aguas residuales ácidas y alcalinas que provienen de las fases de lavado: esta técnica se puede aplicar solamente en instalaciones IR que contengan lavadores húmedos. En general, es adecuado sólo en las instalaciones nuevas que tienen condicionantes especiales para la pureza de los efluentes, etc. Se aplica principalmente cuando se necesita un efluente final de la más alta calidad o donde hay salidas para el uso beneficioso del HCl y el yeso reciclados.
 - c) Recirculación del efluente del lavador húmedo: se usa sólo en sistemas de lavado húmedo o para la deshidratación de lodos de alcantarillado.
 - d) La provisión de almacenamiento y capacidad tampón para el efluente del lavador: este sistema es muy importante cuando los residuos son altamente heterogéneos o de composición dudosa, ya que lleva a variaciones más grandes del contenido del efluente.
 - e) Uso de la RNCS junto con el lavado húmedo: esta técnica puede aplicarse en todas las instalaciones de IR que cuenten con lavadores húmedos posteriores al inyectado de reactivos de amonio o urea para la reducción de NO_x. La técnica es particularmente ventajosa cuando los valores de deslizamiento de amonio, después de la caldera, son más altos.

4.5.1.1. Factores generales a considerar cuando se seleccionan los sistemas de tratamiento de los gases de combustión

La siguiente lista de factores generales debe tenerse en cuenta cuando se seleccionan los sistemas de tratamiento de los gases de combustión (TGC) (véase también la MTD n.º 37 en la tabla 4.8):

- Tipos de residuos: composición y variación.
- Tipo de proceso de combustión y su tamaño.

- Flujo de gases de combustión y temperatura.
- Contenido, tamaño y tasa de fluctuaciones de la composición de los gases de combustión.
- Valores límite de los objetivos de emisión.
- Disponibilidad de suelo y espacio.
- Disponibilidad y coste de las salidas para los residuos acumulados o reciclados, del agua y otros reactivos.
- Posibilidades de suministro de energía (p. ej. suministro de calor desde los lavadores de condensación).
- Carga de eliminación tolerable para los residuos entrantes (existen factores de mercado y políticos).
- Emisiones acústicas.
- Colocar los diferentes aparatos de limpieza de los gases de combustión, si es posible, con las temperaturas de dichos gases en descenso desde la caldera hasta la chimenea.

4.5.1.2. Optimización energética

Algunas técnicas de tratamiento de los gases de combustión pueden incrementar significativamente los requisitos globales de energía del proceso de incineración. Es necesario considerar los requisitos de energía adicionales impuestos según la legislación.

4.5.1.3. Optimización global y el enfoque de «sistema completo»

De la misma manera que se tienen en cuenta los aspectos energéticos, también es provechoso considerar el sistema de TGC como una unidad en su totalidad. Esto es de especial relevancia para la eliminación de contaminantes, ya que las unidades interactúan a menudo, proporcionando una reducción primaria en el caso de algunos contaminantes y un efecto adicional en otros. Se obtienen diferentes valores de eficacia de limpieza según la composición de la secuencia de dicha limpieza.

4.5.1.4. Selección de la técnica en instalaciones existentes o nuevas

Una optimización global y la interacción entre los componentes de los sistemas de TGC (así como del resto del proceso de incineración) son importantes tanto para las instalaciones nuevas como para las ya existentes. Por lo que respecta a estas últimas, el número de opciones puede verse restringido fuertemente en comparación con las nuevas instalaciones. Diversos comentarios relativos a la compatibilidad entre procesos se encuentran en las respectivas secciones que tratan individualmente las técnicas de TGC.

4.5.2. Descripción general de los tratamientos de los gases de combustión en los incineradores de residuos peligrosos

Se utilizan diferentes técnicas para reducir la concentración de los contaminantes en los gases de combustión:

- Se utilizan sistemas de lavado para reducir los componentes ácidos en los gases de combustión. Para disminuir la cantidad de polvo y metales pesados en dichos gases, se utilizan precipitadores electrostáticos (PES) y filtros de mangas. Los sistemas PES se instalan normalmente en la parte delantera de los lavadores húmedos para reducir la entrada de sólidos en el líquido de lavado. Por el contrario, no se encuentran generalmente en los sistemas de tratamiento secos o semihúmedos, ya que éstos usan los filtros de mangas, que constituyen por ellos mismos un sistema de control de polvo.
- Para reducir la liberación de dioxinas a la atmósfera, se usan las siguientes técnicas: carbón activado, filtros de carbón activado de lecho fijo y reducción catalítica selectiva.

- Para reducir las emisiones de NO_x se aplican la reducción catalítica selectiva (RCS) o la reducción no catalítica selectiva (RNCS).

4.5.3. Tratamiento de los gases de combustión para los incineradores de lodos

Los sistemas de TGC utilizados dependen en gran parte de la composición de los residuos y a menudo serán similares a los que se aplican en los incineradores de residuos municipales. No obstante, la eliminación de los óxidos de nitrógeno y del mercurio merece una atención especial.

4.5.4. Técnicas para reducir las emisiones de partículas

La selección del equipamiento de limpieza de partículas para los gases de combustión está determinada principalmente por:

- la carga de partículas en la corriente gaseosa;
- el tamaño medio de las partículas;
- la distribución del tamaño de las partículas;
- el caudal de gas;
- la temperatura de los gases de combustión;
- la compatibilidad con otros componentes del conjunto del sistema TGC;
- las concentraciones de salida requeridas.

Algunos parámetros, como la distribución del tamaño de las partículas y su tamaño medio, raras veces se conocen y son cifras empíricas. Los tratamientos disponibles o las opciones de eliminación para las sustancias depositadas pueden influir también en la selección del sistema de TGC, es decir, si existe una salida para el tratamiento y el uso de las cenizas volantes, éstas pueden recogerse por separado en lugar de hacerlo junto con los residuos del TGC.

En general, la aplicación de un sistema para eliminar el polvo de los gases de combustión se considera esencial para todas las instalaciones de incineración de residuos.

4.5.4.1. Fase de desempolvado previa a otros tratamientos de los gases de combustión

Esta sección considera el emplazamiento de una fase de eliminación del polvo, generalmente después del desempolvado previo en la caldera, pero antes de llegar a las fases posteriores del TGC.

Los siguientes sistemas de extracción previa del polvo se usan para la incineración de residuos:

- Ciclones y multiciclones.
- Precipitadores electrostáticos.
- Filtros de mangas, llamados también de tela.

4.5.4.1.1. Ciclones y multiciclones

Usan la fuerza centrífuga para separar las partículas de la corriente de gas. Los multiciclones, a diferencia de los ciclones simples, están formados por muchas unidades pequeñas de ciclones.

En general, los ciclones por sí solos no pueden alcanzar los niveles de emisión que actualmente se aplican en los modernos incineradores de residuos. Pueden, sin embargo, jugar un papel importante cuando se utilizan como extractores previos de polvo, anteriores a otra etapas del tratamiento de los gases de combustión. Los requisitos energéticos son generalmente bajos, ya que no se produce ningún descenso de la presión a través del ciclón. Se consideran apropiados para la aplicación en la región mediterránea.

La aplicabilidad específica de la MTD relacionada con los ciclones (número 51 en la tabla 4.8) es:

- Cuando hay una fase previa de desempolvado, evaluar la composición de las cenizas volantes:
 - a) Separación de la fase de eliminación del polvo de otros tratamientos de los gases de combustión: es aplicable en todas las instalaciones nuevas y en todos los procesos existentes que reemplacen los sistemas de tratamiento de los gases de combustión.
 - b) Aplicación de un sistema adicional para limpiar los gases de combustión: es aplicable a todos los tipos de residuos (no es necesario para las bajas concentraciones de polvo en gases sin tratar). El espacio puede ser un factor limitante en las plantas existentes.

4.5.4.1.2. *Precipitadores electrostáticos (PES)*

A los precipitadores electrostáticos también se les llama filtros electrostáticos. Su eficacia en la eliminación del polvo está mayormente influenciada por la resistencia eléctrica del polvo. Si la resistencia de la capa de polvo sobrepasa unos valores aproximados entre 10^{11} y 10^{12} Ωcm , se reduce la eficacia de eliminación. La resistencia de la capa de polvo está influenciada por la composición de los residuos. Por tanto, puede cambiar rápidamente al variar la composición de los residuos, especialmente en la **incineración de residuos peligrosos**. El azufre en los residuos y el contenido de agua a temperaturas de funcionamiento inferiores a 200 °C, a menudo reducen la resistencia de la capa de polvo como el SO_2 en los gases de combustión y facilitan, por consiguiente, la deposición en el campo eléctrico.

En referencia a la deposición del polvo fino y los aerosoles, las instalaciones que mantienen el efecto del campo electrostático mediante la formación de gotas en los gases de combustión pueden mejorar la eficacia de la eliminación.

Las temperaturas habituales durante el funcionamiento de los precipitadores electrostáticos oscilan entre 160 y 260 °C. En general, se evitan las operaciones a temperaturas más elevadas (p. ej. por encima de los 250 °C) ya que pueden incrementar el riesgo de formación de PCDD/F y, por tanto, su emisión.

4.5.4.1.3. *Filtros de tela*

También llamados filtros de mangas, su uso está muy extendido en las plantas de incineración de residuos. La eficacia de filtrado es muy alta en una amplia gama de tamaños de las partículas. Para las partículas de tamaño inferior a los 0,1 μm , la eficacia se reduce, pero éstas representan una fracción relativamente pequeña de las partículas existentes en la corriente de gases de combustión de las plantas de incineración de residuos. Con esta tecnología se consiguen emisiones con un bajo contenido de polvo. También puede usarse con posterioridad al PES y los lavadores húmedos.

La compatibilidad del medio del filtro con las características de los gases de combustión y el polvo, así como con la temperatura de procesamiento del filtro, es importante para un rendimiento eficaz. El medio del filtro debe tener propiedades adecuadas para la resistencia térmica, física y química. El caudal del gas determina la superficie de filtrado adecuada.

Las tensiones mecánicas y térmicas del material del filtro determinan la vida útil y los requisitos energéticos y de mantenimiento.

4.5.4.2. Sistema adicional de limpieza de los gases de combustión

Esta técnica está relacionada con la aplicación de los sistemas de limpieza de los gases de combustión para la reducción de las emisiones de polvo después de que se hayan aplicado otros TGC, pero antes de liberar definitivamente los gases de la chimenea a la atmósfera. Los principales sistemas aplicados son:

- Filtros de mangas, también conocidos como filtros de tela.
- PES húmedos.

- Lavadores electrodinámicos comerciales.
- Módulos de filtrado por aglomerados.
- Lavador húmedo de ionización.

Es posible considerar la adición de un tratamiento final húmedo para los gases de combustión a modo de tratamiento de limpieza tras otros sistemas que tratan gases ácidos y demás. En general, se hace este añadido para controlar específicamente las emisiones de HCl cuando son muy variables.

Estas técnicas son, normalmente, caras y muy específicas, por lo que puede resultar mejor el uso de una técnica general, más barata, dentro de la región mediterránea.

4.5.4.2.1. *Precipitadores electrostáticos húmedos (PES húmedos)*

Se basan en el mismo principio tecnológico de trabajo que los precipitadores electrostáticos. Con este diseño, sin embargo, se quita el polvo precipitado en las placas recolectoras lavándolo con un líquido (agua). Esta técnica funciona satisfactoriamente en los casos en que los gases de combustión húmedos o más fríos entran en el precipitador electrostático.

4.5.4.2.2. *Precipitador electrostático de condensación*

Se usa para depositar partículas muy finas, sólidas, líquidas o pegajosas, por ejemplo, en los gases de combustión de las plantas de incineración de **residuos peligrosos**. Consiste en unos tubos verticales de plástico dispuestos en haces que se refrigeran exteriormente con agua.

Inicialmente, los gases de combustión que contienen polvo se enfrían mediante inyección directa de agua en un extintor hasta alcanzar la temperatura de condensación y luego se saturan con vapor. Al enfriar los gases en las tuberías colectoras más abajo se forma una capa fina de líquido homogéneo en la superficie interior de los tubos como resultado de la condensación del vapor. Se trata de una toma de tierra eléctrica y sirve, por tanto, como electrodo pasivo.

4.5.4.2.3. *Lavadores húmedos de ionización (LHI)*

Eliminan varios contaminantes de los gases de combustión. Los LHI combinan los principios de carga electrostática de las partículas, atracción electrostática y deposición de aerosoles, deposición vertical para partículas gruesas, líquidas y sólidas, y la absorción de gases peligrosos, corrosivos y malolientes.

4.5.5. **Técnicas para la reducción de gases ácidos**

Los gases ácidos (p. ej. las emisiones de HCl, HF y SO_x) que se encuentran entre los gases de combustión se limpian, generalmente, usando reactivos alcalinos. Se aplican los siguientes procesos de limpieza:

Procesos secos: se añade un agente de sorción seco (p. ej. cal, bicarbonato sódico) al flujo de gases de combustión. El producto de la reacción también es seco.

Procesos semihúmedos: también llamados semisecos, en ellos el agente de sorción añadido al flujo de gases de combustión es una solución acuosa (p. ej. lechada de cal) o suspensión (p. ej. lodos). La solución acuosa se evapora y los productos de la reacción son secos. Los restos pueden volverse a poner en circulación para mejorar la utilización del reactivo. Un subconjunto de esta técnica son los procesos de secado rápido (*flash-dry*) que consisten en la inyección de agua –que da lugar a un enfriamiento rápido del gas– y de un reactivo en la entrada del filtro.

Procesos húmedos: el flujo de gases de combustión se introduce en agua, peróxido de hidrógeno o una solución de lavado que contiene parte del reactivo (p. ej. una solución de hidróxido de sodio). El producto de la reacción es acuoso.

4.5.5.1. Recirculación de los restos del TGC en el sistema TGC

Los restos recogidos en el filtro de tela y que se usan para los sistemas de TGC secos, semihúmedos y similares (y no para los húmedos), contienen habitualmente una proporción significativa de reactivos del tratamiento de los gases de combustión que no han reaccionado, así como las cenizas volantes y otros contaminantes eliminados de la corriente de gases. Una parte de los restos acumulados se puede recircular dentro del sistema TGC.

En general, debido a la recirculación, el tamaño del TGC aumenta para contener el volumen adicional del material que se ha vuelto a poner en circulación.

4.5.5.2. Eliminación del dióxido de azufre y de compuestos halógenos

Los gases de combustión se limpian de dióxido de azufre y gases halógenos al ponerlos en contacto, mediante inyección, con agentes de sorción químicos o físicos. En esta técnica, los productos de la reacción están disueltos o se presentan en forma de sales secas. Existen tres sistemas: seco, semihúmedo y húmedo. A continuación se explica cada uno de ellos:

Sistemas secos: en los procesos de sorción seca, el agente de absorción (normalmente cal o bicarbonato sódico) se introduce en el reactor en forma de polvo seco. La dosificación del reactivo depende de la temperatura y del tipo de reactivo. En el caso de la cal, esta tasa es típicamente el doble o el triple de la cantidad estequiométrica de la sustancia que se depositará; con el bicarbonato sódico, la relación es más baja. Esto es necesario para garantizar que se cumplan los límites de emisión en un rango determinado de concentraciones de entrada. Los productos generados en la reacción son sólidos y, en una fase posterior y provenientes de los gases de combustión, tienen que ser depositados en forma de polvo, normalmente en un filtro de mangas.

Sistemas semihúmedos: en la absorción por pulverización, el agente de absorción se inyecta, como suspensión o solución, en el flujo caliente de gases de combustión en un reactor de pulverización. Este tipo de proceso utiliza el calor de los gases de combustión para la evaporación del solvente (agua). Los productos generados en la reacción son sólidos y, provenientes de los gases de combustión, tienen que ser depositados en forma de polvo en una fase posterior.

Sistemas húmedos: en los procesos húmedos se utilizan diferentes diseños de lavadores para la limpieza de los gases de combustión. La solución de lavado es fuertemente ácida (típicamente pH 0-1) debido a los ácidos que se forman durante el proceso de deposición. El HCl y el HF se eliminan principalmente en la primera fase del lavado húmedo. El efluente de la primera fase se recicla varias veces, con la adición de pequeñas cantidades agua dulce y una purga del lavador para mantener la eficacia de eliminación de los gases ácidos. En este medio ácido, la deposición de SO₂ es baja y, por tanto, se necesita una segunda fase de lavado para su eliminación.

4.5.5.3. Desulfuración directa (adición directa de reactivos alcalinos a los residuos)

La desulfuración en los procesos de lecho fluidificado puede llevarse a cabo añadiendo absorbentes (p. ej. compuestos de calcio o magnesio) directamente en la cámara de incineración. Se usan aditivos como carbonato cálcico en polvo, el hidróxido cálcico y la dolomita en polvo. El sistema puede combinarse con una desulfuración posterior de los gases de combustión.

Las condiciones ideales para la desulfuración directa se dan en los hornos cicloidales debido al nivel constante de temperatura.

La absorción y adsorción de contaminantes puede también llevarse a cabo en un reactor de lecho fluidificado en el cual los restos y los reactivos se recirculan en combustión a gran velocidad. La recirculación de los gases de combustión mantiene el flujo de gases por encima de un nivel mínimo para mantener la fluidificación del lecho. El material del lecho se separa en un filtro de mangas. La inyección de agua reduce significativamente el consumo de absorbentes y, por tanto, la producción de restos.

4.5.5.4. Uso de la monitorización de gases ácidos para el proceso de TGC

Al hacer una monitorización del HCl gaseoso de respuesta rápida, anterior o posterior a los sistemas de TGC secos y semihúmedos, es posible ajustar la operación del sistema de TGC de manera que la calidad de los reactivos alcalinos usados se optimiza para el valor de ajuste de las emisiones de la operación. Esta técnica se aplica generalmente como un método adicional para controlar las concentraciones punta a través de la acumulación de una capa de reactivo en los filtros de mangas que también proporciona un efecto de tamponamiento importante para las fluctuaciones de reactivo.

4.5.6. Técnicas para la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno

Técnicas primarias: se puede disminuir la producción de NO_x usando medidas de control de los hornos que impidan el abastecimiento excesivo de aire –p. ej. previniendo el suministro de nitrógeno adicional– o que impidan el uso de temperaturas innecesariamente altas en los hornos, lo que incluye zonas calientes locales. Las técnicas que se pueden usar son: suministro de aire, control de la mezcla de gases y de la temperatura, reciclado de gases de combustión, inyección de oxígeno, combustión por etapas, inyección de gas natural quemado e inyección de agua en el horno o llama.

Técnicas secundarias: se aplican para cumplir con la media diaria de los valores de NO_x (p. ej. 200 mg/Nm^3 en la UE). En la mayoría de los procesos, la aplicación de amoníaco o sus derivados, p. ej. urea, como agentes reductores ha tenido éxito. Los óxidos de nitrógeno en los gases de combustión son principalmente NO y NO_2 , los cuales se reducen a N_2 y vapor de agua por la acción del agente reductor. Hay dos procesos importantes para la eliminación del nitrógeno de los gases de combustión: reducción no catalítica selectiva (RNCS) y reducción catalítica selectiva (RCS). Tanto el NH_3 como la urea se aplican en forma de soluciones acuosas. El NH_3 normalmente se aplica, por razones de seguridad, como una solución al 25 %.

La mejor técnica disponible seleccionada (número 40) se muestra en la tabla 4.8.

4.5.6.1. Reducción catalítica selectiva (RCS)

La reducción catalítica selectiva (RCS) es un proceso catalítico durante el cual el amoníaco mezclado con el aire –que es el agente reductor– se añade a los gases de combustión y pasa a través de un catalizador, habitualmente una malla (p. ej. platino, rodio, TiO_2 , zeolitas, etc.). Cuando pasa a través del catalizador, el amonio reacciona con los NO_x y produce nitrógeno y vapor de agua.

4.5.6.2. Reducción no catalítica selectiva (RNCS)

En este proceso, los óxidos de nitrógeno se eliminan mediante una reducción no catalítica selectiva. El agente reductor –comúnmente amonio o urea– se inyecta en el horno y reacciona con los óxidos de nitrógeno.

4.5.6.3. Optimización de la selección del reactivo para la reducción de los NO_x vía RNCS

Los reactivos usados para la RNCS son el amoníaco y la urea. La selección de los reactivos debe tener en cuenta una variedad de procesos y factores operativos, de coste y de rendimiento para garantizar que se seleccione el que es óptimo para la instalación en cuestión.

Se pueden diseñar específicamente nuevos procesos para conseguir unas condiciones de combustión estables y predecibles, y seleccionar los lugares óptimos para la inyección del reactivo, lo que permitirá entonces asegurar las ventajas del amoníaco. Aquellos procesos con dificultades para establecer las condiciones de combustión –por razones de diseño, control o tipo de residuos, entre otras– tienen menos probabilidades de ser optimizados para la inyección del reactivo y por consiguiente pueden beneficiarse del uso de la urea.

4.5.7. Técnicas para la reducción de las emisiones de PCDD/F

En general, para conseguir un buen nivel (emisiones bajas) es necesario usar una combinación de técnicas primarias que reduzcan la producción de PCDD/F y medidas secundarias que reduzcan posteriormente el nivel de emisiones a la atmósfera.

Las técnicas que se pueden usar son:

- Adsorción sobre reactivos de carbón activado en un sistema de flujo de arrastre: el carbón se filtra desde el flujo de gases usando filtros de mangas. El carbón activado muestra una alta eficacia de absorción para el mercurio y también para los PCDD/F.
- Sistemas RCS: se usan para la reducción de los NO_x y también destruyen los PCDD/F gaseosos mediante oxidación catalítica.
- Filtros de mangas catalíticos: los filtros de mangas están impregnados con un catalizador, o bien, el catalizador se mezcla directamente con material orgánico en la producción de fibras. Estos filtros se han usado para reducir las emisiones de PCDD/F.
- Requemado de adsorbentes de carbono: el carbón se usa para adsorber las dioxinas y el mercurio en muchos incineradores de residuos.
- Uso de plásticos impregnados de carbón para la adsorción de PCDD/F: los plásticos se usan ampliamente en la construcción del equipamiento de limpieza de los gases de combustión debido a su excelente resistencia a la corrosión. Los PCDD/F se adsorben a estos plásticos en los lavadores húmedos.
- Filtros de lecho estático: los filtros de coque activado de lecho móvil se usan como proceso de limpieza secundaria de los gases de combustión producidos durante la incineración de los residuos municipales y peligrosos. Es posible depositar, con una gran eficacia, sustancias contenidas en los gases de combustión a concentraciones extremadamente bajas.
- Extinción por enfriamiento rápido de los gases de combustión: implica el uso de un lavador de agua para enfriar los gases de combustión directamente desde su temperatura de combustión hasta por debajo de los 100 °C. Se usa en algunos IRP. La acción del enfriamiento rápido reduce la permanencia de los gases de combustión en zonas de temperatura que puedan dar lugar a una nueva síntesis de PCDD/F.
- Adsorción sobre reactivos de carbón activado en un sistema de flujo en suspensión: el carbón activado se inyecta en el flujo de gases y se filtra desde éstos usando filtros de mangas. El carbón activado muestra una alta eficacia de absorción del mercurio y los PCDD/F.
- Uso de los lodos de carbón en los lavadores húmedos: esto puede reducir las emisiones al flujo de gases de combustión e impedir la acumulación de dioxinas en el material de lavado. Las moléculas de las dioxinas o los furanos se transfieren al líquido pulverizado en el lavador y luego las dioxinas se adsorben sobre el carbón, donde tiene lugar una reacción catalítica.

Como ya se ha mencionado, algunas de estas técnicas – que pueden variar de un país a otro– deben aplicarse en la región mediterránea debido a su rendimiento contra contaminantes orgánicos persistentes, como las dioxinas y los furanos.

Las mejores técnicas disponibles relativas a las dioxinas y los furanos (PCDD/F) son los números 41 y 42 (tabla 4.8). Para estas, las aplicaciones específicas son las siguientes:

- Reducción de las emisiones globales de PCDD/F a todos los medios:
 - a) Técnicas primarias: éstas se aplican para mejorar los aspectos relacionados con la combustión que derivarán, en general, en un mejor rendimiento de la incineración, incluyendo un menor riesgo de producción de PCDD/F.
 - b) Prevención de una reformación de PCDD/F: un tema particularmente importante en el caso de los PCB u otros residuos para los cuales se cree que el riesgo de formación de PCDD/F es alto. Se aplica en todas las plantas de cualquier tamaño y es más difícil de rediseñar en los procesos ya existentes.

- c) Adsorción de PCDD/F por el carbón activado: es aplicable a todos los tipos de residuos, en toda la variedad de tamaño de las plantas, y en plantas nuevas y existentes, que son fácilmente modernizadas en la mayoría de los casos.
- d) Adsorción de PCDD/F en lechos estáticos: es aplicable a todos los tipos de residuos, pero es especialmente adecuada para los **residuos peligrosos** y altamente heterogéneos en los cuales los PCDD/F pueden ser altos debido a las difíciles condiciones de combustión.
- e) Destrucción de PCDD/F usando DCR: puede aplicarse a cualquier tipo de residuos y a plantas de cualquier tamaño pero, debido a los costes de inversión, es más económica en las instalaciones medianas y grandes.
- f) Destrucción de PCDD/F usando filtros catalíticos: es aplicable a todos los tipos de residuos y en toda la variedad de tamaño de las plantas. También se puede aplicar en los procesos nuevos y existentes.

4.5.8. Técnicas para la reducción de las emisiones de mercurio

Existen dos tipos de técnicas para la reducción de las emisiones de mercurio (Hg): primarias y secundarias. Las primarias son generales, y se pueden aplicar por completo en la región mediterránea, y las secundarias son específicas.

Técnicas primarias: el mercurio es altamente volátil y, por tanto, pasa casi exclusivamente a la corriente de gases de combustión. Las únicas técnicas primarias relevantes para impedir las emisiones de mercurio a la atmósfera son aquellas que previenen o controlan, si es posible, la inclusión de mercurio en los residuos: la recogida eficaz y por separado de los residuos que pueden contener metales pesados (p. ej. pilas, baterías, amalgamas dentales, etc.); el aviso a los productores de residuos de la necesidad de separar el mercurio; la identificación y restricción de la recepción de residuos potencialmente contaminados con mercurio y, cuando se sepa que se recibirán tales residuos, la planificación para añadirlos de forma controlada, evitando así la sobrecarga de la capacidad del sistema de reducción.

Técnicas secundarias: el mercurio se evapora completamente a una temperatura de 357 °C y permanece en estado gaseoso en los gases de combustión después de pasar a través del horno y la caldera. El mercurio inorgánico y el elemental se ven afectados de manera diferente por los sistemas de TGC y se necesita un estudio detallado de los resultados para ambos. La selección de un proceso para reducir el mercurio depende de la carga introducida y del contenido en cloro del material que se quema. A mayor contenido de cloro, la forma iónica del mercurio en los gases de combustión no tratados será a su vez mayor y puede ser depositada en los lavadores húmedos. Ésta es una consideración particular de las plantas incineradoras de lodos de alcantarillado, donde los niveles de cloro gaseoso sin tratar pueden ser bastante bajos. Sin embargo, si el contenido de cloro en los lodos secos de alcantarillado es igual o superior al 0,3 % de la masa, sólo un 10 % del mercurio en el gas limpio será elemental, y únicamente la eliminación del mercurio iónico puede alcanzar un nivel de emisión total de Hg de 0,03 mg/Nm³. El mercurio metálico puede eliminarse de la corriente de los gases de combustión por medio de su transformación en mercurio iónico añadiéndole oxidantes y luego depositándolo en el lavador, o por deposición directa en carbón activado dopado con azufre, coque de horno de solera o zeolitas.

Las cuatro subsecciones siguientes desarrollan cuatro casos diferentes de reducción de mercurio.

Las mejores técnicas disponibles respecto a esta categoría se muestran en la tabla 4.8 (n.º 44 y 45). La aplicabilidad específica de la MTD n.º 44 es la siguiente:

- Para el control de las emisiones de Hg:
 - a) Lavado húmedo a pH bajo y añadido de aditivos: puede solamente cumplir con los límites de emisión establecidos en la Directiva 2000/76/CE sobre la incineración de residuos. Esta técnica puede sólo aplicarse en el control de la emisión de Hg a la atmósfera como un paso previo al tratamiento del Hg, o cuando las concentraciones de los residuos entrantes son suficientemente bajas (p. ej. inferiores a 4 mg/kg¹⁷). Si no es así, se pueden producir emisiones a la atmósfera por encima de los 50 µg/Nm³.
 - b) Adición de peróxido de hidrógeno a los lavadores húmedos: este método se puede aplicar en todos los tipos de incineradores de residuos que usan lavado. El mejor efecto se consigue si el lavador está situado después de la cámara de filtros de mangas con inyección de carbón.
 - c) Inyección de clorito para el control del Hg elemental: incineración de residuos y reducción del mercurio en los gases de combustión que contienen como mínimo 400 mg/Nm³ de cloruro de hidrógeno. Es compatible únicamente con los sistemas de lavado húmedo.
 - d) Inyección de carbón activado para la adsorción de Hg: proporciona reducciones eficaces de las emisiones en una gran variedad de tipos de residuos. Se aplica a las nuevas instalaciones y como actualización de las ya existentes.
 - e) Uso de carbón activado estático o filtros de coque: es especialmente adecuado para residuos peligrosos y altamente heterogéneos. Se puede aplicar a procesos existentes y nuevos, con independencia del tamaño de la planta.

4.5.8.1. Lavado húmedo a pH bajo y añadido de aditivos

El uso de lavadores húmedos para la eliminación de los gases ácidos provoca una reducción del pH del lavador. La mayoría de los lavadores húmedos tienen por lo menos dos fases. La primera elimina principalmente el HCl, el HF y parte del SO₂. En una segunda fase, mantenida a un pH 6-8, se elimina el SO₂. Si la primera fase se mantiene a un pH inferior a 1, la eficacia de eliminación del Hg iónico en forma de HgCl₂, que es normalmente el principal compuesto de mercurio tras la combustión de los residuos, sobrepasa el 95 %. Sin embargo, las tasas de eliminación del Hg metálico son sólo del orden del 0-10 %, principalmente a causa de la condensación a la temperatura de funcionamiento del lavador, aproximadamente entre 60 y 70 °C.

La adsorción del mercurio metálico puede mejorarse hasta un máximo del 20 ó 30 % con la adición de:

- compuestos de azufre al licor del lavador;
- carbón activado al licor del lavador;
- oxidantes, p. ej. peróxido de hidrógeno, al licor del lavador. Esta técnica convierte el mercurio metálico a la forma iónica, en forma de HgCl₂, para facilitar su precipitación y produce el efecto más destacado.

4.5.8.2. Inyección de carbón activado para la adsorción de Hg

Esta técnica implica la inyección de carbón activado con anterioridad a un filtro de mangas u otros aparatos para la extracción de polvo. El mercurio metálico se adsorbe en la corriente y, cuando se usan filtros de barrera, como los filtros de mangas, también se adsorbe en el reactivo que está retenido sobre la superficie de la manga.

¹⁷ mg/kg: miligramos/kilogramo

4.5.8.3. Separación del mercurio usando un filtro de resina

Después de la separación del polvo y del primer aclarado ácido, los ácidos sin tratar en el metal pesado con uniones iónicas se pasan a través de un intercambiador de iones de Hg. El mercurio se separa en un filtro de resina y luego se neutraliza el ácido con lechada de cal.

4.5.8.4. Inyección de clorito para el control del Hg elemental

La inyección de un agente oxidante fuerte convierte el mercurio elemental en mercurio oxidado y hace que sea posible su lavado en el lavador húmedo. Para evitar que dicho agente se acabe al reaccionar con otros compuestos, se introduce justo antes de las boquillas de pulverización del primer lavador ácido. El pH del lavador se mantiene entre 0,5 y 2.

Cuando el líquido pulverizado se pone en contacto con los gases ácidos que contienen cloruro de hidrógeno, el clorito se transforma en dióxido de cloro, que es realmente el compuesto activo.

4.5.9. Técnicas para la reducción de otras emisiones de metales pesados

Otros metales pesados en incineración se convierten principalmente en óxidos no volátiles y se depositan con las cenizas de la combustión. Así, las técnicas más relevantes son las aplicables a la eliminación de polvo. El carbono activado también se utiliza para reducir las emisiones de metales pesados.

4.5.10. Técnicas para la reducción de las emisiones de compuestos orgánicos

La combustión eficaz es el medio más importante para reducir las emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos. Los gases de combustión de las plantas de incineración de residuos pueden contener trazas de una gran variedad de compuestos orgánicos, entre otros: hidrocarburos aromáticos halogenados; hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), benceno, tolueno y xileno (BTX), policlorodibenzodioxinas (PCDD) y policlorodibenzofuranos (PCDF). Los PCDD/F se pueden formar a partir de compuestos precursores tras el paso por el horno. Los compuestos precursores son: PCB, policlorodifenilmetanos (PCDM), clorobenzenos e hidroxiclorobenzenos.

Las PCDD y los PCDF también se pueden formar en las reacciones catalíticas del carbono o compuestos de carbono con compuestos inorgánicos de cloro sobre óxidos de metales. Estas reacciones ocurrirán especialmente en las cenizas volantes o en el polvo de los filtros a temperaturas entre 200 y 450 °C.

Se cree que los tres mecanismos siguientes conducen a la formación de dioxinas y furanos durante la incineración de residuos:

- Formación de PCDD/F a partir de hidrocarburos clorados ya presentes, o que se han formado, en el horno (p. ej. hidroclobenceno o clorobenceno).
- Nueva síntesis en el rango de bajas temperaturas (calderas y PES secos).
- Destrucción incompleta de los PCDD/F suministrados con los residuos.

La incineración óptima de los gases de combustión destruye en gran parte los compuestos precursores. Por consiguiente, se suprime la formación de PCDD y PCDF a partir de éstos.

Las emisiones de hidrocarburos orgánicos se pueden reducir con nuevas deposiciones de polvo y aerosoles, ya que estos contaminantes se adsorben preferentemente sobre la fracción fina de polvo, y también mediante la aplicación de un enfriamiento (condensación) de los gases de combustión.

La aplicabilidad específica de esta técnica (MTD número 49 en la tabla 4.8) es la siguiente:

- Uso de una combinación apropiada de las técnicas para mejorar el quemado de los residuos:
 - a) Uso de una combinación de diseños de hornos: es aplicable tanto en las instalaciones nuevas como en las existentes.
 - b) Incremento del tiempo de agitación y de residencia: la naturaleza de los residuos recibidos puede restringir la selección de la tecnología de combustión. No obstante, estas técnicas se aplican en todos los casos.
 - c) Ajuste del rendimiento para mantener un buen quemado y unas buenas condiciones de combustión: es aplicable a todas las plantas de IR.
 - d) Reducción de la tasa de residuos que traspasan la parrilla o retorno de los residuos fríos a la cámara de combustión: es aplicable a todos los incineradores de parrilla, especialmente en aquellos en los que:
 - existen preocupaciones concretas o requisitos que necesitan la mejora del quemado;
 - se incineran también residuos clínicos u otros residuos infecciosos que pueden pasar a través de la parrilla;
 - las parrillas presentan espacios más grandes entre las barras y muchos residuos o en otros sistemas en los que los niveles de residuos pueden ser relativamente más altos.

4.5.11. Reducción de los gases de efecto invernadero (CO₂, N₂O)

Existen básicamente dos vías para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero:

- Incrementar la eficacia de la recuperación y el suministro de energía.
- Controlar las emisiones de CO₂ mediante el tratamiento de los gases de combustión.

Es posible que se produzca carbonato sódico al reaccionar el CO₂ con el NaOH en los gases de combustión.

4.5.11.1. Prevención de las emisiones de óxido nitroso

Las emisiones de óxido nitroso como consecuencia de la incineración de residuos se deben al uso de:

- bajas temperaturas de combustión (normalmente por debajo de los 850 °C);
- RNCS para la reducción de NO_x, especialmente cuando la urea es el reactivo escogido.

La temperatura óptima para la minimizar simultáneamente la producción de NO_x y N₂O se sitúa entre los 850 y los 900 °C. Parece que las emisiones de N₂O son bajas cuando la temperatura en la cámara de postcombustión supera los 900 °C. Las emisiones de N₂O debidas al uso de RCS también son bajas. De esta manera, siempre que las temperaturas de combustión estén por encima de los 850 °C, la RNCS representa, en general, la única fuente significativa de emisiones de N₂O en los incineradores de residuos modernos.

Para evitar las emisiones de óxido nitroso se utilizan las siguientes técnicas:

- Reducción de la dosis del reactivo de la RNCS optimizando el proceso de RNCS.
- Selección del intervalo de temperaturas optimizadas para la inyección del reactivo de la RNCS.
- Uso de métodos de modelización del flujo para optimizar la situación de las boquillas de inyección.
- Diseño que garantice el mezclado eficaz de los gases con el reactivo a la temperatura apropiada.
- Zonas de quemado hiperestequiométrico para garantizar la oxidación del óxido nitroso.
- Para la RNCS, uso de amoníaco en lugar de urea.

4.6. TÉCNICAS DE CONTROL Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Esta sección describe las técnicas necesarias para tratar las aguas residuales procedentes del tratamiento de los gases de combustión y de las plantas incineradoras de residuos peligrosos. La tabla 4.9 muestra la selección de las mejores técnicas y prácticas disponibles. La aplicación de alguna clase de tratamiento de las aguas residuales es esencial en los incineradores de residuos peligrosos, incluso en la región mediterránea

Tabla 4.9: MTD para las técnicas de control y tratamiento de las aguas residuales

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>46.- Optimización general de la recirculación y la reutilización dentro de la instalación de las aguas residuales producidas <i>in situ</i>.</p> <p>Las técnicas utilizadas son:</p> <p>a) Recirculación de los efluentes en el proceso en el lugar de su vertido.</p> <p>b) Uso del agua de drenaje de la caldera para el suministro de los lavadores.</p>	<p>a) Esto permite que el incinerador de residuos concentre los contaminantes inorgánicos en residuos sólidos, reduzca el consumo de agua y elimine o limite la necesidad de verter los efluentes.</p> <p>b) Disminución del consumo de agua gracias al reemplazo del agua que alimenta al lavador.</p>	<p>a) Los costes aumentarán si se requiere el tratamiento provisional de los efluentes. Se puede ahorrar algo si se reduce el consumo de agua y los costes del vertido.</p> <p>b) n. d.</p>
<p>47.- Uso de sistemas separados para el drenaje, el tratamiento y el vertido del agua de lluvia que cae en el emplazamiento –también el agua del tejado– de manera que no se mezcle con corrientes de aguas residuales potencial o realmente contaminadas. Algunas de esas corrientes pueden necesitar poco o ningún tratamiento antes de su vertido, dependiendo del riesgo de contaminación y de los factores de vertido locales.</p>	<p>La ventaja ambiental consiste en una reducción del volumen de aguas residuales que necesitan tratamiento. La fracción contaminada restante está más concentrada y puede tratarse con mayor eficacia.</p>	<p>Los costes de actualización pueden ser significativos en los centros existentes, pero este sistema se puede instalar eficazmente en los centros nuevos. Se ahorra al tener una necesidad menor de capacidad de carga de agua en el centro.</p>

4.6.1. Fuentes potenciales de aguas residuales

Las emisiones potenciales de agua de las plantas de incineración de residuos son: aguas residuales del proceso, aguas residuales de recolección, tratamiento y almacenamiento de las cenizas de horno, aguas residuales sanitarias, agua de lluvia limpia, agua de lluvia contaminada, agua de refrigeración usada y aguas residuales condensadas procedentes del secado parcial previo de los lodos de alcantarillado.

4.6.2. Principios de diseño básicos para el control de las aguas residuales

Los principios básicos siguientes se aplican al control las aguas residuales de incineración: la aplicación de una tecnología de incineración óptima, la reducción del consumo de agua y de los vertidos de aguas residuales de acuerdo con los estándares relevantes para la emisión de aguas, así como un funcionamiento óptimo del sistema de tratamiento de aguas.

La aplicabilidad específica de las mejores prácticas seleccionadas (números 46 y 47 en la tabla 4.9) es la siguiente:

- Uso de sistemas separados para el drenaje, el tratamiento y el vertido del agua de lluvia que cae en el centro: esta técnica se puede aplicar en todas las instalaciones IR. Si el incinerador se encuentra en una comunidad con una única alcantarilla para las aguas residuales contaminadas y el agua de lluvia, entonces la recogida separada de las corrientes no contaminadas no tiene demasiado sentido a no ser que pueda tratarse adecuadamente para el vertido directo en el medio.

4.6.3. Procesamiento de las aguas residuales de los sistemas de tratamiento húmedo de los gases de combustión

Las aguas residuales resultantes del tratamiento húmedo de los gases de combustión contienen una amplia variedad de componentes contaminantes. Las cantidades de aguas residuales y las concentraciones dependen de la composición de los residuos y del diseño del sistema de gases de combustión. El reciclado de las aguas residuales en los sistemas TGC húmedos puede dar como resultado una reducción sustancial de la cantidad de aguas residuales y, en consecuencia, unas concentraciones de contaminantes más altas.

Para el tratamiento de las aguas residuales de los sistemas de tratamiento de los gases de combustión, se aplican tres métodos principales:

- Tratamiento fisicoquímico basado en la corrección del pH y en la sedimentación. Con este sistema se produce una corriente de aguas residuales tratadas que contienen sales disueltas. Si no se evapora, será necesario verterla.
- Evaporación en la línea de procesamiento de la incineración de residuos mediante un secador por pulverización, en sistemas de TGC semihúmedos u otros sistemas que usan filtros de mangas. En tal caso, las sales disueltas se incorporan en los restos del sistema de tratamiento de los gases de combustión. No se producen emisiones de aguas residuales, excepto las evaporadas con los gases de combustión.
- Evaporación de las aguas residuales por separado. En este caso, el agua evaporada está condensada, pero como en general está muy limpia, a menudo se puede verter o reciclar sin medidas especiales.

4.6.3.1. Tratamiento fisicoquímico

El proceso que se muestra consiste en los siguientes pasos. Pueden seguirse todos o sólo algunos de ellos:

- Neutralización de las aguas residuales contaminadas: para ello a menudo se usa cal. El resultado es la precipitación de sulfitos y sulfatos.
- Floculación de contaminantes: la eliminación de los metales pesados se basa en la floculación seguida de una precipitación. Se necesita un rango de pH diferente según el metal.
- Asentamiento de los lodos formados.
- Deshidratación de los lodos.
- Filtrado del efluente: se pueden usar filtros de arena o filtros de carbón activo, que reducen las concentraciones de metales pesados y de los compuestos de PCDD/F, PAE, etc.

Se pueden incluir otros pasos:

- Precipitación.
- Coagulación.
- Control del pH y de la temperatura.

4.6.3.2. Aplicación de sulfuros

Los agentes orgánicos, como por ejemplo los polielectrolitos, se usan habitualmente para llevar a cabo la floculación. El añadido de agentes complejantes y sulfuros permite reducciones adicionales a mercurio y otros vertidos de metales pesados.

El uso de sulfuros requiere normas de seguridad especiales.

4.6.3.3. Aplicación de la tecnología de membranas

Es especialmente eficaz para grandes flujos de agua con bajas concentraciones de sales.

4.6.3.4. Extracción de volátiles del amoníaco

Para la aplicación de la eliminación de NO_x por RNCS, las aguas residuales procedentes del lavador húmedo contienen compuestos de amoníaco. Dependiendo de la concentración real de amoníaco, la extracción de volátiles del amoníaco de los efluentes puede ser una opción a considerar.

4.6.3.5. Tratamiento por separado de las aguas residuales provenientes del primer y del último paso de los sistemas de lavado.

Las primeras fases de los sistemas de lavado húmedo funcionan típicamente a un pH muy bajo. Bajo estas condiciones del proceso, el HCl se elimina específicamente de las corrientes de gases de combustión. La eliminación del SO_2 se produce en el paso final a un pH neutro.

4.6.3.6. Tratamiento biológico anaeróbico (conversión de los sulfatos en azufre elemental)

Los sulfatos de las aguas residuales se pueden reducir a sulfuros en un reactor gracias a la actividad de las bacterias anaeróbicas. El efluente de este reactor, que tiene un elevado contenido de sulfuros, se trata en un segundo reactor. En éste, los sulfuros se oxidan biológicamente en una atmósfera aeróbica para dar lugar a azufre elemental.

Esta tecnología podría ser difícil de aplicar en el campo de los residuos peligrosos.

4.6.3.7. Sistemas de evaporación para las aguas residuales del proceso

Si el vertido de sales solubles no es aceptable, las aguas residuales del proceso tienen que ser evaporadas. Para ello, existen dos opciones principales:

- Evaporación en línea: los residuos se reciclan durante el proceso por medio de un secador por pulverización (comparable al absorbedor por pulverización).
- Evaporación separada: basada en la evaporación realizada en los sistemas de evaporación recalentados con vapor.

4.6.3.8. Recirculación de las aguas residuales contaminadas en sistemas de limpieza húmeda

Las aguas residuales contaminadas de los lavadores húmedos se hacen recircular tanto como sea posible antes de someterlas a ningún tratamiento, de manera que se puedan reciclar como suministro para los lavadores o como aguas de dilución para los floculantes orgánicos durante el drenaje de los lodos de alcantarillado.

4.6.3.9. Recirculación de efluentes durante el proceso en lugar de verterlos

Debido a que el propio proceso de incineración representa un medio de concentración y eliminación de los contaminantes de las corrientes de residuos, es posible introducir en el proceso de

incineración, en los puntos apropiados, los efluentes de aguas residuales de volumen bajo-medio. Esto se puede llevar a cabo de tal manera que no afecte al funcionamiento de la planta de incineración ni a su rendimiento ambiental.

4.6.3.10. Vertido separado del agua de lluvia de los tejados y otras superficies limpias

Esta técnica implica la separación del drenaje del agua de lluvia limpia de forma que no se mezcle con corrientes realmente o potencialmente contaminadas.

4.6.3.11. Provisión de capacidad para el almacenamiento y tamponamiento de las aguas residuales

Cuanto mayor sea el volumen de almacenamiento, más homogénea será la composición de las aguas residuales. Esto, a su vez, permite una mejor optimización y control del proceso en la fase de tratamiento.

4.6.3.12. Tratamiento separado de los efluentes producidos en diferentes etapas del lavado húmedo

Esta técnica implica la separación y el tratamiento por separado de las corrientes ácidas y alcalinas del lavador húmedo para permitir una mayor optimización del efluente y ofrecer más opciones para el reciclado de los componentes de las corrientes de efluentes.

4.6.4. Tratamiento de las aguas residuales en los incineradores de residuos peligrosos

Las instalaciones de IRP que vierten aguas residuales poseen, a su vez, instalaciones para el tratamiento de éstas. La situación actual se puede resumir como sigue:

- Se puede hacer una distinción general entre los incineradores equipados con una caldera y las otras instalaciones de IRP equipadas con un sistema de extinción por enfriamiento rápido, siendo el flujo de efluentes vertidos más grande en las últimas por razones técnicas. Las instalaciones equipadas con una caldera vierten entre <1 y 5 l/kg¹⁸ de residuos incinerados. Las instalaciones equipadas únicamente con sistemas de enfriamiento rápido vierten entre 10 y 20 l/kg de residuos incinerados, aunque pueden reducir su caudal de agua a 5 l/kg mediante la recirculación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales o el reciclado dentro de la propia unidad de extinción.
- Normalmente, el efluente de la sección ácida de la limpieza húmeda del gas (que contiene NaCl, CaCl₂, Hg, CaF₂ y SO₃) se mezcla con el efluente de la sección alcalina (que contiene Na₂SO₄) para precipitar una parte del yeso –y reducir el contenido en sulfatos de los efluentes a menos de 2 g/l, que es la concentración de solubilidad del yeso– antes de tratamientos adicionales. Existe, sin embargo, una instalación donde los efluentes de los lavadores ácidos y alcalinos se tratan separadamente.

Los principales elementos de la planta de tratamiento de aguas residuales para el tratamiento del efluente de la sección de limpieza húmeda de los gases de combustión procedentes de la incineración de los residuos peligrosos, se muestran a continuación:

- Neutralización (p. ej. adición de cal, NaOH/HCl).
- Añadido de reactivos específicos para la precipitación de metales en forma de hidróxidos o sulfuros metálicos (p. ej. agentes floculantes, trimercaptotriazina, sulfuros, polielectrolito, etc.).

¹⁸ l/kg: litros/kilogramo

- Eliminación del sedimento mediante sedimentación por gravedad y decantación, o bien usando técnicas mecánicas como filtros prensa o centrifugas.

En algunas plantas de tratamiento de aguas residuales, éstas se limpian haciéndolas pasar a través de un filtro de arena y después a través de uno de carbón activado.

4.7. TÉCNICAS DE CONTROL Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Esta sección describe los tipos de residuos generados por una planta de incineración de residuos peligrosos y las técnicas existentes para reducirlos (en sólidos y en gases). Las mejores técnicas disponibles seleccionadas que se pueden aplicar se muestran en la tabla 4.10.

La aplicación de algún tipo de tratamiento de residuos sólidos y de técnicas de control es esencial en los incineradores de residuos peligrosos; además, se pueden obtener ventajas de algunas fracciones residuales y de la reducción de los costes de eliminación. Todo ello resulta importante para las instalaciones de la región mediterránea.

Tabla 4.10: MTD para el tratamiento de restos sólidos y las técnicas de control

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
43.- Si se aplica un nuevo quemado de los residuos de TGC, se tienen que tomar medidas adecuadas para evitar la recirculación y la acumulación de mercurio en la instalación.	n. d.	n. d.
50.- Gestionar por separado las cenizas de horno, las cenizas volantes y los otros residuos de TGC para evitar la contaminación de las cenizas de horno y de ese modo mejorar el potencial de recuperación de las cenizas. Se trata también de una MTD que evalúa los niveles de contaminantes en la ceniza de la caldera y determina si es apropiada la separación o la mezcla con las cenizas de horno.	La segregación de los residuos de TGC de las cenizas de horno permite un posterior tratamiento de estas últimas para producir un material utilizable. Una corriente mezclada no permite su procesamiento para convertirla en material reciclado y es necesario el vertido de los residuos. Se sustituyen los materiales de construcción naturales.	Las reducciones de coste se ven allá donde hay mercados para el uso de las cenizas de horno. La eliminación de los residuos de TGC puede ser mayor, pero los volúmenes se reducen mucho. Por sí solos, los volúmenes de residuos TGC representan típicamente el 2 ó 3 % de la masa de residuos entrantes y, combinados con las cenizas de horno, ascienden a un 15 % aprox.
52.- Separación de los metales ferrosos y no ferrosos restantes respecto de las cenizas de horno para su reciclado, siempre que sea factible y económicamente viable.	La fracción ferrosa se puede reciclar, tras separar las impurezas, como chatarra de acero para altos hornos. Los metales no ferrosos se procesan externamente mediante una separación adicional según el tipo de metal y pueden ser refundidos. La fracción de cenizas resultante puede procesarse para dar un material de construcción secundario inerte.	Las fracciones metálicas se pueden vender a los chatarreros (a 0,01 - 0,05 EUR/kg el material ferroso y 0,1 - 0,6 EUR/kg el material no ferroso).

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>53.- Tratamiento de las cenizas de horno (dentro o fuera del centro) con una combinación adecuada de:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) tratamiento de las cenizas de horno mediante envejecimiento; b) tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento seco; c) tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento húmedo; d) tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas termales; e) horno giratorio a altas temperaturas (escorificación, 1100 - 1400 °C); f) cribaje y trituración de las cenizas de horno; <p>dependiendo del grado de cumplimiento requerido de las especificaciones establecidas para su uso o en las instalaciones de tratamiento o eliminación receptoras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> a) El envejecimiento se lleva a cabo para reducir la reactividad residual y la lixiviabilidad de los metales. b) Esto produce un material que puede usarse y reduce la cantidad de residuos que han que eliminarse. c) El tratamiento húmedo de las cenizas de horno pretende eliminar los metales para reducir tanto el contenido en metales como el filtrado de éstos. Se puede reducir aproximadamente un 50 % del contenido de cloruro lavando las cenizas. d) Esto reduce el volumen entre un 33 y un 50 %; produce muy poco filtrado y un residuo altamente estable que puede ser reciclado fácilmente como un agregado. Además, disminuyen los niveles de PCDD/F en las cenizas. e) Todos los materiales orgánicos se incineran completamente (el contenido de materia orgánica en las cenizas de horno después de la incineración es típicamente inferior al 1 %). Se da un contenido más bajo de hidrocarburos y CO en los gases de combustión; una mayor destrucción de moléculas de PCB y la formación de una ceniza de horno fundida en el horno giratorio. f) La principal ventaja ambiental de la instalación de un proceso de tratamiento mecánico es una reducción del volumen de desechos y residuos y, por tanto, una tasa de recuperación global más alta. 	<ul style="list-style-type: none"> a) El coste del envejecimiento es bajo. Se ahorra en los costes de eliminación por reciclado. b) La principal ventaja es que se evitan los costes de la eliminación; la economía de la operación de tratamiento de las cenizas de horno depende del precio de mercado de las fracciones producidas. c) Depende del precio de mercado de las fracciones producidas. d) Los costes del tratamiento térmico externo son elevados. e) Los costes adicionales provienen de la necesidad de usar un horno refrigerado por agua para evitar gastos de mantenimiento elevados; el posible uso de combustibles de soporte para mantener las altas temperaturas; las posibles modificaciones del horno para conservar el calor; y la adición de materiales inorgánicos, produciendo más cenizas de horno y lavado de metales pesados que se evaporan más a temperaturas más altas. En algunos casos, se ha descartado el uso de altas temperaturas a causa de los costes asociados con el mantenimiento refractario. f) La rentabilidad de la instalación de un sistema para la rotura de los desechos pesados se tiene que evaluar en función de las cantidades proyectadas y los costes de eliminación.

MTD	Beneficios ambientales	Aspectos económicos
<p>54.- Tratamiento de los residuos de TGC (dentro o fuera del centro) en el grado que se requiera para cumplir con los requisitos de aceptación relativos a la opción de gestión de residuos seleccionada para éstos, incluyendo la consideración del uso de las técnicas de tratamiento de residuos de TGC. Estas técnicas son:</p> <p>a) Solidificación con cemento de los residuos de TGC.</p> <p>b) Vitrificación y fundición de los residuos de TGC.</p> <p>c) Extracción de ácidos de la caldera y las cenizas volantes.</p>	<p>a) Esto reduce el contacto entre el agua y los residuos y, hasta cierto punto, la posible formación de hidróxidos o carbonatos metálicos menos solubles.</p> <p>b) En general, los productos fundidos y vitrificados tienen muy buenas propiedades de filtrado.</p> <p>c) El proceso elimina una parte significativa de la cantidad total de metales pesados de los residuos. La lixiviabilidad de los residuos se reduce en un factor de 10^2 a 10^3. El zinc, el cadmio y el mercurio se reciclan. Las pruebas de ecotoxicidad son positivas.</p>	<p>a) Los residuos se pueden entregar a las plantas existentes. Los costes de tratamiento pueden variar según el país.</p> <p>b) Se calcula que los costes del tratamiento están entre 100 y 6000 EUR/t de residuos. Los costes de inversión pueden ser de entre 10 y 20 millones de EUR aprox., para una planta con una capacidad de 1-2 t/h.</p> <p>c) Costes del proceso de tratamiento de los residuos de TGC: entre 150 y 205 EUR/t aprox., incluyendo los cargos del reciclado de la torta filtrante de zinc, que ascienden a 10-13 EUR/t de residuos.</p>

4.7.1. Clases de residuos sólidos

La incineración de residuos da como resultado varias clases de residuos sólidos. Se puede distinguir entre aquellos residuos directamente resultantes del proceso de incineración y aquellos otros que resultan del sistema de TGC. Los residuos de TGC pueden ser cenizas volantes finas y productos de la reacción o aditivos que no han reaccionado del sistema de TGC, o del sistema de tratamiento de las aguas residuales asociadas. La última categoría a menudo recibe el nombre de residuos del tratamiento de gases de combustión (TGC) o del control de la contaminación del aire (CCA). Con frecuencia, los residuos sólidos de los procesos de tratamiento de los efluentes del lavador (húmedo) se prensan para formar un sólido llamado torta filtrante o se mezclan con las cenizas volantes para minimizar el volumen o para un mejor drenaje con yeso de la planta. Además, el yeso y las sales se pueden recuperar de los sistemas de tratamiento húmedo de los gases de combustión si se usan procesos específicos.

Las subsecciones siguientes dan una breve explicación de los tipos de residuos clasificados según su origen.

4.7.1.1. Residuos que se producen durante la fase de combustión del incinerador:

Residuos peligrosos y residuos clínicos específicos:

- Escoria: resulta de la incineración de residuos peligrosos en un horno giratorio. En general, este tipo de residuos se elimina mediante un vertido sin ningún otro tratamiento o puede ser reciclado si se dispone de un permiso local.
- Otras cenizas son similares a las procedentes de las IRSM pero, teniendo en cuenta que pueden presentar unos niveles más altos de contaminantes, se tiende generalmente a eliminarlas.

Lodos de alcantarillado:

- Cenizas volantes: resultan de la incineración en lecho fluidificado de los lodos de alcantarillado. Este tipo de residuos puede usarse como material de relleno para aplicaciones asociadas en la construcción civil, en los países donde se permite esta práctica.
- Cenizas de lecho: resultan de la incineración en lecho fluidificado de los lodos de alcantarillado. Se trata de una categoría relativamente pequeña. Con frecuencia se añaden a las cenizas volantes o vertidas sin tratamiento adicional.

CDD:

- Cenizas de lecho: resultan de la incineración en lecho fluidificado de los CDD. Dependiendo de las características específicas del material, la cantidad de cenizas de lecho puede ser sustancialmente mayor que en el caso de la incineración de lodos de alcantarillado. En lo que respecta a su reutilización, se dispone de poca experiencia.
- Cenizas: resultan de la incineración a pequeña y mediana escala de los residuos de madera. Las cantidades referidas son relativamente pequeñas.

Algunas instalaciones funcionan a temperaturas especialmente altas con el objetivo específico de fundir las cenizas y producir escoria, que puede tener mejores opciones de utilización debido a su lixiviabilidad más baja. Los hornos giratorios de escorificación a altas temperaturas y los procesos de combustión y gasificación combinada son ejemplos de tales sistemas.

4.7.1.2. Restos del TGC

Los restos del TGC contienen cantidades concentradas de contaminantes –p. ej. compuestos peligrosos y sales– y, por tanto, normalmente no se consideran apropiados para los propósitos de reciclado. Por eso, el objetivo principal es encontrar una opción de eliminación final que sea ambientalmente segura. Se pueden distinguir las siguientes clases de restos del tratamiento de los gases de combustión:

- Restos del tratamiento seco y semihúmedo de los gases de combustión: estos residuos son una mezcla de sales de calcio y sodio, principalmente cloruros y sulfitos o sulfatos, así como de algunos fluoruros y reactivos químicos que no han reaccionado. Esta mezcla también incluye algunas cenizas volantes que no se han eliminado durante los pasos previos de extracción de polvo y, por tanto, puede incluir metales pesados contaminantes y PCDD/F. La vía normal de eliminación es verterla como residuos peligrosos (p. ej. en bolsas grandes). La lixiviabilidad de los residuos es un aspecto importante para la eliminación posterior de los vertidos y, por consiguiente, se aplican tratamientos para reducir dicha lixiviabilidad antes de realizar los vertidos. Los residuos de TGC del proceso con bicarbonato sódico seco se pueden depurar y reciclar en un proceso industrial –p. ej. como materia prima en la industria química–, lo que puede requerir la separación de las cenizas volantes y los residuos de sales para reducir el contenido inerte.
- Mejora de las propiedades para el vertido mediante solidificación fría.
- Torta filtrante: constituye el tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales del tratamiento húmedo de los gases de combustión. Este material se caracteriza por un contenido muy alto de metales pesados, pero también puede incluir sales de solubilidad limitada, como el yeso. La eliminación normal es por vertido. Estos restos pueden tener altas concentraciones de PCDD/F y, por tanto, algunas veces se tratan antes de llevar a cabo el vertido.
- Yeso: también puede recuperarse con o sin limpieza, dependiendo de los parámetros del proceso y de los requisitos de calidad. La recuperación del yeso es posible cuando se usa carbonato cálcico o cal hidratada en un lavador húmedo de dos fases con un separador de gotas eficaz.
- Sales: que resultan de la evaporación en línea de las aguas residuales. Estos residuos son comparables con los residuos procedentes del tratamiento seco de los gases de combustión.
- Sales: resultantes de la evaporación separada de las aguas residuales. El uso o la eliminación

de las sales depende de la composición de los residuos. Son habitualmente más puras que las provenientes de la evaporación en línea.

- Los residuos de limpieza de los gases de combustión: las opciones de uso dependen del adsorbente utilizado. Algunas veces, se permite que los residuos de carbón de los reactores de lecho fijo sean incinerados en la propia planta de incineración de residuos si se cumplen ciertas condiciones del proceso. Los residuos de los sistemas de lecho arrastrado también se pueden incinerar, aunque sólo si el adsorbente aplicado es carbón activado o coques de horno. Si se usa una mezcla de otros reactivos y carbón activado, los residuos se envían generalmente al exterior para ser tratados o eliminados, ya que existe un riesgo de corrosión
- Uso como material de relleno en las minas de sal.

4.7.2. Técnicas de tratamiento de los residuos sólidos

La posibilidad de recuperar los restos sólidos de los incineradores de residuos viene determinada típicamente por:

- el contenido de compuestos orgánicos en los residuos;
- el contenido total de metales pesados en los residuos;
- la lixiviabilidad de los metales, sales y metales pesados en los residuos;
- la idoneidad física de los residuos, p. ej. tamaño de las partículas y concentración;
- factores de mercado, normativas y políticas.

La aplicabilidad específica de las MTD seleccionadas (50, 52 y 53 en la tabla 4.10) es la siguiente:

- La gestión separada de las cenizas de horno de las cenizas volantes y otros restos del TGC: esta técnica se aplica tanto en las plantas nuevas como en las existentes.
- La separación de los metales ferrosos y no ferrosos restantes respecto a las cenizas de horno: la separación magnética de los metales ferrosos es aplicable en todas las instalaciones nuevas y existentes. La separación de los metales no ferrosos requiere espacio y rendimiento suficiente, y puede llevarse a cabo en una instalación externa (centralizada) de procesamiento de la escoria.
- El tratamiento de las cenizas de horno:
 - a) Tratamiento de las cenizas de horno por envejecimiento: puede aplicarse en todas las instalaciones nuevas y existentes que producen escoria.
 - b) Tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento seco: aplicable a las instalaciones nuevas y existentes. Se necesita un rendimiento mínimo para que sea económicamente viable.
 - c) Tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento húmedo: aplicable a las instalaciones nuevas y existentes.
 - d) Tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas térmicos: el tratamiento de plasma se aplica al tratamiento del incinerador combinado y las cenizas volantes. Si se añaden los restos químicos del TGC, entonces se necesita un TGC más intenso.
 - e) Horno giratorio a altas temperaturas (escorificación a 1100 - 1400 °C): se aplica principalmente en los hornos giratorios que queman **residuos peligrosos** de valores calóricos altos, p. ej. los que contienen varios solventes y aceites usados.
 - f) Cribaje y trituración de las cenizas de horno: aplicable a todas las instalaciones incineradoras que producen cenizas que requieren tratamiento antes de que puedan usarse, o cuando dicho tratamiento permite un mayor uso.

Las subsecciones siguientes presentan una selección de estas técnicas según el tipo de restos.

4.7.2.1. Tratamiento y reciclado de residuos sólidos

El alto contenido en minerales de las cenizas residuales de la incineración hace que puedan ser potencialmente adecuadas como materiales de construcción o, más específicamente, para el uso en carreteras. Su uso es posible si el material cumple con un conjunto de criterios ambientales y técnicos. Para ello se necesita una optimización de la calidad de las cenizas a través de medidas primarias o secundarias. Los parámetros generales de interés son:

- Quemado (MTD 43 en la tabla 4.10).
- Reactividad mineral.
- Filtración de metales.
- Contenido de sales.
- Tamaño de las partículas y la distribución de éste.

Las medidas primarias para controlar la producción de residuos implican la optimización del control del proceso de combustión, lo que permite:

- garantizar el quemado óptimo de los compuestos orgánicos,
- potenciar la volatilización de los metales pesados del lecho de combustible,
- fijar los elementos litofílicos en las cenizas de horno, reduciendo de esta manera su lixiviabilidad.

Estas medidas podrían ser aplicadas en la región mediterránea a pesar de su naturaleza genérica. Los tratamientos secundarios posibles deben estudiarse para el caso particular de cada instalación.

Los sistemas de tratamiento secundarios implican una o más de las siguientes acciones:

- Reducción del tamaño para permitir la separación de los metales y mejorar la calidad técnica.
- Separación de los metales ferrosos y no ferrosos, q se pueden reciclar en la industria de los metales.
- Lavado para eliminar las sales solubles.
- Envejecimiento para estabilizar la estructura de la matriz y reducir la reactividad.
- Tratamiento con un aglomerante hidráulico o de hidrocarburos para reusarlos como capa de base en las carreteras.
- Tratamiento térmico para obtener metales inertes y contenerlos en una matriz vítrea.

4.7.2.2. Separación de las cenizas de horno de los restos del tratamiento de los gases de combustión

La mezcla de los restos del tratamiento de los gases de combustión con la escoria causa la contaminación de esta última. Debido al alto contenido en metales pesados, a la lixiviabilidad de los metales y al contenido orgánico de los restos del TGC, la calidad ambiental de la escoria disminuye. Esto limita las opciones para el uso posterior de la escoria.

Esta técnica consiste en la recogida separada, almacenamiento y transporte de las dos corrientes de restos. Además, implica silos de almacenamiento y contenedores especiales, así como sistemas de manipulación específicos para los residuos del TGC finos y pulverulentos.

4.7.2.3. Cenizas de horno: separación de metales

De las cenizas de horno se pueden extraer tanto los metales ferrosos como los no ferrosos. La separación de los metales ferrosos se lleva a cabo usando un imán. Las cenizas de horno se extienden sobre una cadena transportadora o transportador vibratorio y un imán suspendido atrae

todas las partículas magnéticas. Esta separación de los metales ferrosos puede aplicarse a las cenizas sin tratar una vez han abandonado el extractor de cenizas.

La separación del metal no ferroso se realiza con un separador de corrientes turbillonarias. Una bobina que rota rápidamente induce un campo magnético en las partículas no ferrosas, lo que provoca que sean expulsadas del flujo de material. Esta técnica es efectiva para partículas de tamaño entre 4 y 30 mm, y requiere que el material esté bien extendido sobre la cinta transportadora. La separación se lleva a cabo después de haber aislado el metal ferroso, de la reducción del tamaño de las partículas y del cribaje.

4.7.2.4. Cribaje y trituración de las cenizas de horno

Las diversas operaciones de tratamiento mecánico de las cenizas de horno están dirigidas a preparar los materiales para la construcción de carreteras y explanaciones del terreno que tengan características geotécnicas satisfactorias y no perjudiquen las obras en la carretera. Varias operaciones pueden ocurrir durante la preparación del proceso:

- Separación granulométrica por cribaje.
- Reducción del tamaño mediante la trituración de los elementos grandes o rompiéndolos.
- Separación por corriente de aire para eliminar las fracciones ligeras no quemadas.

Hay tres tipos de cribaje:

- Tamices rotativos o de tambor.
- Tamices planos (vibradores o no).
- Tamices de estrella: el cribaje se consigue a través del movimiento sobre una serie de rodillos equipados con una piezas en forma de estrella en cada eje.

Se puede instalar una trituradora en la línea de tratamiento para romper pedazos grandes, generalmente, a la salida del primer cribaje. La mitad de las instalaciones están equipadas con trituradoras y algunas usan el equipamiento de la propia instalación para romper los bloques.

4.7.2.5. Tratamiento de las cenizas de horno por envejecimiento

Tras la separación de los metales, las cenizas de horno se pueden depositar al aire libre o en edificios cubiertos específicos durante varias semanas. Por lo general, el almacenaje se realiza en pilas de reserva sobre un suelo de hormigón. Las aguas blancas y de drenaje se recogen para el tratamiento. Si es necesario, se pueden humedecer las pilas usando un aspersor o un sistema de mangueras para evitar la formación de polvo y las emisiones, y favorecer también la filtración de las sales y la carbonización si la escoria no está suficientemente húmeda.

Las pilas pueden girarse regularmente para asegurar la homogeneidad de los procesos que tienen lugar durante el envejecimiento –absorción de CO₂ del aire debido a la humedad, drenaje del agua en exceso, oxidación, etc.– y para reducir el tiempo de residencia de cada lote de escoria en las instalaciones específicas.

4.7.2.6. Tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento seco

Las instalaciones de tratamiento seco de las cenizas de horno combinan las técnicas de separación de metales ferrosos, reducción del tamaño y cribaje, separación de metales no ferrosos y envejecimiento de las cenizas de horno tratadas. El producto es un agregado seco con un tamaño controlado del grano que puede usarse como material de construcción secundario.

4.7.3. Tratamientos aplicados a los restos de los gases de combustión

Las siguientes técnicas específicas se identifican con el tratamiento de los restos de gases de combustión. La aplicabilidad de la mejor técnica disponible (número 54 en la tabla 4.10) se describe de la siguiente manera:

- Tratamiento de los restos de los gases de combustión:
 - a) **Solidificación con cemento:** se realiza típicamente en las plantas específicas situadas cerca del destino final del producto, para que los incineradores individuales no tengan la necesidad de instalar un equipamiento de solidificación. Puede usarse con todos los tipos de restos del TGC. También se aplica a muchos otros tipos de **residuos peligrosos**.
 - b) **Extracción de ácidos de la caldera y cenizas volantes:** este sistema sólo se puede usar en los incineradores con un sistema de TGC húmedo que puedan verter las aguas residuales tratadas.

4.7.3.1. Solidificación y estabilización química

El principal objetivo de la solidificación es producir un material con propiedades físicas y químicas que permitan reducir la liberación de contaminantes de la matriz de restos. La adición de cemento, por ejemplo, disminuye generalmente la conductividad hidráulica y la porosidad de los restos y, por otro lado, incrementa su durabilidad, concentración y volumen. Además, aumenta habitualmente la alcalinidad de la mezcla, mejorando por tanto el comportamiento de filtración del producto, aunque pueda dar como resultado un aumento de la solubilidad de los metales anfóteros, como el plomo y el zinc.

El producto solidificado se arroja normalmente en bloques o se vierte directamente. Un factor importante es la reducción de la interacción entre el agua y los residuos.

Habitualmente, los métodos de solidificación usan reactivos aglomerantes en su mayor parte inorgánicos, aunque también se pueden emplear algunos aglomerantes orgánicos. También se utilizan combinaciones de aglomerantes y varios tipos de aditivos registrados o no registrados. La técnica de solidificación más común es, con diferencia, la estabilización con cemento.

Varios métodos de estabilización incorporan un paso inicial de lavado en el cual una gran parte de las sales solubles, y en cierto grado los metales, se extraen antes de la unión química de los metales restantes.

4.7.3.2. Tratamiento térmico de los restos del TGC

El tratamiento térmico de los restos de incineración tiene como objetivo reducir el volumen de dichos restos, pero también reducir el contenido orgánico y de metales pesados, así como mejorar su comportamiento de filtración antes del vertido.

El tratamiento térmico puede agruparse en tres categorías: vitrificación, fusión y sinterización.

- La vitrificación es un proceso en el cual los residuos se tratan a altas temperaturas (actualmente entre 1300 y 1500 °C) y luego se tiemplan rápidamente, con aire o agua, para obtener una matriz vidriosa amorfa. Después del enfriamiento, el material fundido forma un producto de fase única llamado vitrificado, que puede ser un producto similar al vidrio o pétreo, dependiendo de la composición del material fundido.
- La fusión es similar a la vitrificación, pero se controla el paso de templado para permitir la cristalización todo lo posible, dando como resultado un producto multifásico. Las temperaturas y las posibles separaciones de las fases metálicas específicas son similares a las usadas durante la vitrificación.
- La sinterización implica el calentamiento de los restos hasta un nivel en el que se produce la unión de las partículas y se reconfiguran las fases químicas de los residuos. Esto proporciona

un producto más denso, con menos porosidad y de concentración más alta que la del producto original. Por lo general, las temperaturas se sitúan alrededor de los 900 °C.

Independientemente del proceso real, en la mayoría de los casos, el tratamiento térmico de los restos da como resultado un producto más homogéneo y denso con unas mejores propiedades de filtración. La vitrificación también cuenta con las ventajas de la contención física de los contaminantes en la matriz vítrea.

Los requisitos energéticos de los tratamientos autónomos de este tipo son generalmente muy altos. El principal problema es el transporte del calor hasta el reactor de fusión.

Los gases de combustión emitidos por el tratamiento térmico de los restos sólidos pueden contener niveles altos de contaminantes como los NO_x, COT, SO_x, polvo y metales pesados. Por consiguiente, se necesita un tratamiento apropiado de los gases de combustión. Algunas veces, los gases producidos se introducen en el TGC del incinerador si éste se encuentra cerca. Las altas concentraciones de sales en los restos del TGC pueden causar problemas de corrosión en el tratamiento de los gases de combustión de tales procesos. La sinterización no se usa como una opción de tratamiento específico para los restos del TGC, a pesar de que está implicada en algunos tratamientos combinados.

4.7.3.3. Extracción y separación de los restos del TGC

Las opciones de tratamiento que emplean procesos de extracción y separación pueden, en principio, cubrir todos los tipos de procesos que extraen componentes específicos de los restos. Sin embargo, se ha puesto mucho énfasis en los procesos implicados en la extracción con ácido de metales pesados y sales.

4.7.3.4. Estabilización química de los restos del TGC

El concepto principal de la estabilización química es la unión de metales pesados en formas más insolubles que las que están presentes en los residuos originales sin tratar. Estos métodos de estabilización utilizan tanto la precipitación de metales en nuevos minerales, como la unión de metales a minerales mediante sorción. Este proceso incluye la disolución de metales pesados en los residuos y una precipitación subsiguiente, o sorción, de nuevos minerales.

4.7.3.5. Otros métodos o prácticas para los restos del TGC

Una opción de gestión usada habitualmente en los incineradores con sistemas de limpieza húmedos consiste en combinar las cenizas volantes con los lodos producidos al tratar las soluciones de lavado; el producto resultante se llama torta de Bamberg. Este método se ha usado durante más de una década para mejorar las propiedades de los residuos antes de su vertido.

4.8. TÉCNICAS DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL

La monitorización y el control son partes importantes del proceso de incineración, ya que ayudan a garantizar las condiciones óptimas del proceso y, de ese modo, previenen los posibles incidentes y los impactos subsiguientes en el ambiente. Estas técnicas y prácticas son particularmente interesantes para las instalaciones de la región mediterránea.

4.8.1. Sistemas de control de la incineración

Uno de los principales retos de la incineración de residuos proviene de la a menudo amplia variación en la composición de éstos. A causa de estas diferencias, los procesos de incineración se han desarrollado para hacer frente a grandes variaciones en las condiciones de cada proceso. Sin embargo, cuando se dan unas condiciones desfavorables, la intervención en las operaciones sigue siendo necesaria.

El resultado de unos sistemas de control sofisticados es un proceso de incineración que tiene menos variaciones en el tiempo –esto es, más estabilidad– y en el espacio, es decir, es más homogéneo. Los procesos de control mejorados tienen muchas ventajas potenciales, como por ejemplo:

- Una mejor calidad de las cenizas de horno, debido a una distribución primaria de aire suficiente y a una mejor colocación del proceso de incineración en la parrilla.
- Una menor producción de cenizas volantes, debido a la disminución de las variaciones en la cantidad de aire de incineración primario.
- Una mejor calidad de las cenizas volantes, ya que queda menos material sin quemar, debido a unas condiciones del proceso en el horno más estables.
- Una menor formación de CO y C_xH_y , debido a unas condiciones del proceso en el horno más estables.
- Una menor formación de NO_x , debido a unas condiciones del proceso en el horno más estables.
- Una mejor utilización de la capacidad, ya que disminuye la pérdida de capacidad térmica por las variaciones.
- Una mejor eficacia energética, ya que disminuye la cantidad media del aire de incineración.
- Un mejor funcionamiento de la caldera, ya que la temperatura sufre menos altibajos y es más estable, por lo que existe un menor riesgo de corrosión y de formación de cenizas volantes que pueden provocar una colmatación.
- Un mejor funcionamiento del sistema de tratamiento de gases, ya que la cantidad y la composición de los gases de combustión son más estables.
- Menos mantenimiento y mejor disponibilidad de la planta.

Para poder controlar el proceso de incineración se necesita información detallada del proceso. esto incluye: temperaturas de la parrilla en varias posiciones, grosor de la capa de residuos en la parrilla, caída de la presión a lo largo de la parrilla, temperaturas del horno y de los gases de combustión en varios sitios, determinación de la distribución de la temperatura en la superficie de la parrilla por medio de sistemas de medición óptica o por infrarrojos, medidas de los niveles de CO, O_2 , CO_2 y agua (en diversas posiciones) y producción de vapor.

4.8.2. Descripción general de la monitorización de las emisiones realizada

Los siguientes componentes de las emisiones se tienen que medir de forma continuada: polvo, HCl, SO_2 , CO, C_xH_y , NO_x y HF.

Además, debe realizarse un seguimiento continuo de estos parámetros del proceso: temperatura del horno, O_2 , presión, temperatura de salida de los gases de combustión, contenido de vapor de agua, metales pesados y PCDD/F. Las técnicas de medición del mercurio y las dioxinas son complicadas y caras.

La seguridad de la planta es un aspecto importante de la planificación, establecimiento y funcionamiento de las plantas de incineración de residuos. Las partes de la instalación que son relevantes para la seguridad están equipadas con sistemas de protección. Estas partes son:

- El tanque para los residuos y otras áreas para el almacenamiento de residuos potencialmente peligrosos.
- Las plantas de combustión y de purificación de los gases de combustión.
- Las instalaciones de almacenamiento de los elementos auxiliares necesarios, p. ej. amoníaco, carbón activado, etc.

Entre los sistemas de protección usados para controlar el riesgo se encuentran:

- Los sistemas para controlar la emisión de contaminantes, como los de retención del agua usada para la extinción de fuego y los tanques aisladores de sustancias que representan un riesgo para el agua.
- Los sistemas y mecanismos antiincendios, como muros cortafuegos, detectores de incendios y los sistemas de extinción.
- Los sistemas de protección contra las explosiones, como los de disminución de la presión, desvíos, planificación contra posibles fuentes de ignición, sistemas de gases inertes, sistemas de puesta a tierra, etc.
- Los sistemas de protección contra el sabotaje.
- Los sistemas de protección contra rayos.
- Los muros cortafuegos para aislar los transformadores y los aparatos de retención.
- La detección y protección contra incendios cuando existen paneles de alimentación de baja tensión.
- La detección de contaminantes cerca del correspondiente depósito, distribución, etc.
- Las máquinas y el equipamiento diseñados para garantizar la entrada y la salida de energía.
- Los componentes para el vertido, la eliminación o la retención de sustancias peligrosas o mezclas de éstas, como por ejemplo los tanques de retención, y los sistemas de emergencia y vaciado.
- Los sistemas de aviso, alarma y seguridad que se disparan cuando se interrumpe el funcionamiento normal, previenen dichas interrupciones o restablecen el funcionamiento normal.

5. UTILIZACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN PROCESOS INDUSTRIALES

5.1. UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLE SECUNDARIO

Un amplio espectro de tipos de residuos industriales se utilizan como combustibles sustitutivos o secundarios en Europa, y esta experiencia puede reproducirse en la región mediterránea.

Entre estos residuos se incluyen plásticos y papel/cartón procedentes de actividades comerciales e industriales (p. ej. residuos de embalaje o descartes de producción), neumáticos de desecho, residuos de biomasa (p. ej. paja, desechos de madera no tratada, lodos secos de aguas residuales), residuos textiles, residuos de desguace de automóviles y residuos industriales peligrosos con elevado valor calorífico (por ejemplo, aceites residuales o de desecho, lodos industriales, serrín impregnado y disolventes usados). Estos residuos requieren una reducción de tamaño o cribaje simple, pero habitualmente no necesitan procesamiento físico avanzado, así que es factible su uso como combustible en la región mediterránea. [1]

Los residuos industriales utilizados como combustible secundario deben ser procesados, generalmente fuera de la planta industrial final, para cumplir las especificaciones industriales (en la sección 3.2.4 se han abordado tratamientos de preparación de residuos para su uso como combustible), p. ej. homogeneización para proporcionar un valor calorífico consistente y la limitación de compuestos tales como cloro o fósforo para la producción de clínker.

Sólo es preciso almacenar los residuos en la planta industrial final y posteriormente proporcionarlos para alimentar el horno. Puesto que los suministros de residuos aptos para su uso como combustible tienden a ser variables, mientras que los mercados de materiales de desecho se están desarrollando rápidamente, es aconsejable diseñar plantas de almacenamiento/preparación multiusos.

Los combustibles derivados de residuos abarcan un amplio espectro de materiales de desecho que han sido procesados para satisfacer especificaciones de directivas, reguladoras, principalmente para alcanzar un valor calorífico elevado. A continuación se describen los principales residuos industriales utilizados como combustible sustitutivo o secundario y el tipo de industria que generalmente los utiliza. Las propiedades peligrosas de algunos de ellos, p. ej. plásticos, papel o desechos de madera, dependerán de su contenido en sustancias tóxicas.

5.1.1. Neumáticos

Los neumáticos tienen un elevado valor calorífico típico de 28,5 a 35 MJ/kg¹⁹. Contienen niveles relativamente elevados de hierro, azufre ($\approx 1,6\%$) y zinc ($\approx 1,5\%$). En la industria cementera, los neumáticos son uno de los combustibles secundarios sólidos de uso más común, y se utilizan regularmente.

¹⁹ MJ/kg: megajulios/kilogramo

5.1.2. Aceites usados

Los aceites usados no tratados (aproximadamente el 31 % de los aceites usados generados por la UE, cantidad que debería extrapolarse a la región mediterránea) se utilizan habitualmente como combustibles secundarios en hornos para cemento y otros sectores como el de la energía y los hornos de tostación. También se ha informado del uso de este tipo de residuos en plantas de calefacción centralizadas, en centrales eléctricas y en la producción de bitumen.

Aproximadamente el 32 % (también debería extrapolarse esta cifra) recibe tratamiento limitado (separación de agua y sedimentos) y se utiliza como combustible en hornos para cemento, en la industria de la piedra y en centrales eléctricas.

5.1.3. Plásticos

Los plásticos suelen tener un alto valor calorífico (de 29 a 40 MJ/kg). Generalmente se trituran y se mezclan con otros residuos antes de la inyección. El principal factor limitador de los plásticos es el contenido en cloro, especialmente del PVC.

Los residuos plásticos procesados para convertirlos en combustibles secundarios en hornos para cemento incluyen plásticos no reciclables, tales como bolsas de plástico del comercio minorista o residuos de procesos industriales.

Antes de la inyección y de la incineración conjunta, se han puesto a prueba los plásticos mediante trituración y mezclado con otros residuos. También se tiene noticia del uso de plásticos en otros tipos de plantas de combustión y como agentes reductores en altos hornos. Se ha informado sobre la incineración conjunta de plásticos procedentes de vehículos al final de su vida (residuos de fragmentadora de automóviles, RFA) como combustibles secundarios en hornos para cemento y en una central eléctrica.

5.1.4. Biomasa

5.1.4.1. Desechos de madera

Los desechos de madera poseen un valor calorífico de entre 15 y 17 MJ/kg con un contenido de agua residual del 10 al 15 %. Si la madera ha sido tratada o pintada, las concentraciones de metales pesados (As, Cr, Cu), compuestos de cloro y otras sustancias tóxicas podrían elevarse.

Los desechos de madera pueden tener múltiples orígenes: habitualmente, los desechos de madera procedentes de aserraderos, producción de paneles (FDM) y producción de muebles se reutilizan en la producción de papel o se queman para generar energía de proceso *in situ*. Esto no suele estar disponible para la recuperación de energía en otros sectores. Por el contrario, los desechos de madera procedentes de hogares o sectores industriales están potencialmente disponibles para la recuperación de energía.

Normalmente, los desechos de madera se incineran conjuntamente en calderas policombustible para la producción de calefacción centralizada, en centrales eléctricas alimentadas por carbón y en otras plantas industriales, en hornos para cocer ladrillos y también en hornos para cemento.

5.1.4.2. Lodos de alcantarillado

Los lodos secos de alcantarillado (más de un 90 % de sólidos secos) pueden utilizarse como combustible en hornos para cemento, en combinación con otros tipos de residuos sólidos. Los lodos secos de alcantarillado tienen un valor calorífico de 16 a 17 MJ/kg.

Se incineran conjuntamente lodos secos de alcantarillado en hornos para cemento. Existen planes para la combustión conjunta de lodos secos de alcantarillado en una central eléctrica y en un horno

para cocer ladrillos.

5.1.4.3. Paja

En la mayoría de los hornos europeos se mezcla serrín con compuestos orgánicos para producir un combustible secundario más consistente para la industria cementera. También se utiliza como agente poroso en la industria de ladrillos.

5.1.5. Papel y lodos de papel

El papel de desecho se utiliza como combustible alternativo en hornos para cemento, habitualmente junto con plástico y otros residuos. El papel posee un valor calorífico típico de 12,5 a 22 MJ/kg. Los lodos o residuos procedentes de la producción de papel también se utilizan como combustibles secundarios, principalmente en el propio sector papelero. Los lodos de papel tienen un valor calorífico (VC) menor, de alrededor de 8,5 MJ/kg; sin embargo, también se utiliza como combustible secundario en hornos para cemento. Asimismo, el propio sector papelero lleva a cabo en toda Europa la combustión conjunta de lodos de papel y otros residuos procedentes de la producción de papel.

5.1.6. Residuos animales

Los residuos animales (harina de huesos y grasas animales) poseen un VC típico de 16 a 17 MJ/kg. La harina y las grasas animales fundidas se preparan en plantas de procesamiento autorizadas. Las carcasas de animales no infectados por EEB (encefalopatía espongiforme bovina) se someten a la extracción de la médula espinal, el sistema nervioso, las amígdalas y los ojos, a esterilización (a 133 °C a una presión de 3 bar durante un mínimo de 20 minutos) y a molienda posterior. Se sabe que estos residuos poseen un elevado valor calorífico y su composición es estable. El tratamiento previo puede ser realizado por el proveedor fuera de la instalación, o *in situ* por la propia industria o por una filial radicada en el emplazamiento.

La harina de huesos y las grasas animales se utilizan como combustibles alternativos en hornos para cemento; algunos son coincinerados en otras plantas de combustión, en centrales eléctricas alimentadas por carbón y, temporalmente, en una central eléctrica y de calefacción centralizada. También se coincineran o se coincinerarán en el futuro paja y estiércol de volatería como combustible secundario en centrales eléctricas.

5.1.7. Disolventes usados

Éstos son de uso generalizado como combustible secundario por la industria cementera. Los disolventes también se utilizan en centrales eléctricas alimentadas por carbón y otras plantas industriales. Pueden mezclarse con serrín antes de ser inyectados en el horno.

5.1.8. Otros residuos

Otras fracciones de residuos procesadas como combustibles secundarios son:

- Combustible líquido sustituto (CLS) mezclado con serrín (por ejemplo, disolventes usados).
- Residuos de fragmentadora de automóviles (RFA).
- Residuos y recortes de alfombras: éstos también pueden utilizarse como combustibles secundarios en la industria cementera.
- Textiles.
- Residuos de la fabricación de pañales.
- Residuos anódicos, etc.

En síntesis, los residuos peligrosos típicos utilizados como combustibles sustitutivos o secundarios en los sectores industriales se muestran en la tabla 5.1:

Tabla 5.1: Residuos peligrosos utilizados como combustibles sustitutivos o secundarios en Europa

Residuos peligrosos	Sector industrial
Disolventes usados	Hornos para cemento, centrales eléctricas alimentadas por carbón y otras plantas industriales.
Aceites de desecho	Hornos para cemento, centrales eléctricas, industria de la piedra, plantas de calefacción centralizadas, producción de bitumen.
Lodos de aguas residuales	Hornos para cemento, central eléctrica, horno para cocer ladrillos.

5.2. SECTORES INDUSTRIALES QUE UTILIZAN RESIDUOS PELIGROSOS

Los tres principales sectores industriales que utilizan combustibles secundarios procedentes de residuos industriales (tanto peligrosos como no peligrosos) son:

- Industria cementera.
- Industria papelera.
- Industria energética.

La información más fiable y detallada fue recabada para la industria cementera, mientras que resultó más difícil obtener información clara relativa a los demás sectores. Para la industria papelera, fue difícil cuantificar el combustible derivado de desechos (CDD) que fue coincinerado, puesto que no fue posible distinguir entre los residuos generados *in situ*, tales como corteza, residuos de papel o lodos de papel y CDD objeto de comercio. En el sector de la energía, los cambios en el mercado energético dificultan la recogida de información fiable y actualizada.

Otros sectores (p. ej. las industrias del ladrillo y de altos hornos) también podrían estar coincinerando combustibles derivados de residuos, pero estos sectores argumentan que esto no se hace primordialmente para sustitución de la energía, sino para sustitución del material. El CDD procedente de residuos industriales se utiliza en procesos que no se basan en la combustión, tales como la biodigestión, la gasificación y la pirólisis (la gasificación y la pirólisis se tratan en la sección 4.2.1.5).

Las siguientes secciones contienen una descripción de los sectores que pueden utilizar residuos peligrosos como combustible. También incluyen las industrias ubicadas en la región mediterránea.

5.2.1. Industria cementera

Los hornos para cemento consisten en un horno rotatorio en el que tiene lugar la sinterización del clínker. La longitud del horno varía entre 70 y 200 m, con un quemador en el extremo caliente del horno. Para la limpieza del gas de combustión se utilizan uno o varios precipitadores electrostáticos.

Los combustibles fósiles (p. ej. carbón, coque de petróleo, petróleo o gas natural) son los combustibles predominantes utilizados en las industrias del cemento y de la cal. No obstante, en los últimos tiempos se utilizan con creciente frecuencia combustibles de bajo grado, tales como esquistos, lodos de carbón, coque de petróleo y combustibles residuales (tradicionalmente, aceites de desecho, disolvente usado, neumáticos de desecho). Más recientemente, la industria cementera ha coincinerado harina de huesos y grasas animales.

Generalmente, se considera que la calidad del cemento no se ve afectada por el uso de residuos, ya que la composición de los residuos es monitorizada y ajustada para satisfacer los requisitos del cemento. Similarmente, la industria cementera afirma que las emisiones se determinan principalmente por materias primas y no se ven influidas por el tipo de combustible. Por ejemplo, las elevadas emisiones de NO_x son inherentes al proceso debido a las altas temperaturas de combustión. Las emisiones de anhídrido sulfuroso, amoniaco y compuestos de amonio se deben principalmente al contenido en materias primas. Otras emisiones, tales como dioxinas, no se ven afectadas por el tipo de combustible alternativo. [6]

Generalmente, se añade el combustible en el quemador principal, o con las materias primas, o bien en la zona de descarbonización (sólo en procesos húmedos) o en el precalcinador (sólo en procesos en seco). El combustible sólido es triturado antes de alimentarlo al horno. La pulverización es necesaria para asegurar la calcinación completa de la ceniza residual. La temperatura de la llama es muy elevada (entre 1800 y 2000 °C) y el tiempo de retención es de más de 5 segundos a una temperatura superior a 1200 °C, asegurando la destrucción total de la materia orgánica.

Los residuos alimentados a un quemador secundario, precalentador o precalcinador se quemarán a temperaturas más bajas, las cuales no siempre son suficientes para descomponer sustancias orgánicas halogenadas.

Los componentes volátiles presentes en el material alimentado por el extremo superior del horno o como combustible sólido pueden evaporarse. Estos componentes no pasan por la zona de incineración primaria y podrían no se descompuestos o ligados en el clínker de cemento. En consecuencia, el uso de residuos con contenido en metales volátiles (mercurio, talio) o compuestos orgánicos volátiles puede resultar en un incremento de las emisiones de mercurio, talio o COV si se utilizan indebidamente.

Tabla 5.2: Características principales del proceso de producción de cemento (RDC/Kema, 1999 en [1])

Parámetro	Condiciones
Temperatura de la llama	1800-2000 °C
Tiempo de retención del gas	> 5 s a una temperatura superior a 1200 °C
Exceso de oxígeno	Bajo
Eficiencia	44 %
Otros	Atmósfera oxidante Inercia térmica elevada Entorno alcalino
Residuo	Retención de ceniza en el clínker

A fin de asegurar una transferencia de energía adicional a la zona de descarbonización, también es posible añadir combustible sólido a la materia prima. Sin embargo, esto no es la mejor práctica, dado que produce un enorme incremento de la emisión de compuestos orgánicos en los gases de combustión.

También es posible añadir residuos sólidos en el centro del horno húmedo al nivel de la fase de descarbonización. No es preciso que el residuo esté pulverizado. No obstante, un método de alimentación tan discontinuo como éste requiere un control especial de las cantidades de combustible y oxígeno, a fin de garantizar una combustión completa y evitar la presencia incrementada de compuestos orgánicos y monóxido de carbono en el gas de combustión. En un proceso seco, es posible inyectar combustibles pulverizados en la zona de transición del horno rotatorio y los

precisiones y el suministro de oxígeno debe estar correctamente ajustado para asegurar una calcinación completa.

Dado que el proceso requiere una temperatura de alrededor de 2000 °C, la industria cementera tiene una demanda energética muy elevada. Se dispone de información acerca del consumo energético en la industria cementera, incluidos los combustibles secundarios.

La industria cementera es el mayor consumidor de combustibles secundarios procedentes de residuos industriales, con alrededor de 105 hornos en toda Europa. Se sabe que se han coincinerado en plantas cementeras más de 2,5 millones de tpa de combustibles secundarios, principalmente residuos peligrosos tales como disolventes usados, aceites y neumáticos usados.

Los residuos peligrosos tales como aceites de desecho y disolventes usados mezclados con serrín o inyectados en forma líquida a la llama son uno de los CDD más frecuentemente coincinerados en hornos para cemento. También suelen usarse neumáticos, ya sean enteros o triturados, los cuales normalmente se introducen a medio horno o en la fase de calcinación. También pueden añadirse a sistemas precalentadores o al sistema de combustión.

Se sabe que el índice promedio de sustitución energética para combustibles secundarios en la industria cementera se sitúa entre el 1 y el 40 %. Se informó de que en 1995, el uso de combustible en la industria cementera en Europa se aproximaba al 10 % para combustibles derivados de residuos.

Tabla 5.3: Cantidades de residuos utilizadas como combustibles secundarios en Europa (RDC/Kema, 1999 en [1])

Tipo de residuo	Cantidad en 1997 (x10 ³ toneladas por año)	Cantidades previstas para 2003 (x10 ³ toneladas por año)
Neumáticos/caucho	413	496
CDD doméstico	115	132
Lodos de alcantarillado	81	99
Aceites usados	446	<1140
Disolventes usados y residuos peligrosos	592	(incluido en aceites usados)
Plásticos	71	85
Papel de desecho	27	31
Desechos de madera	9	12
Otros	44	53
Total	1800	2050

El reciclaje del material particulado recogido en el proceso, siempre que sea factible, se considera una mejor tecnología disponible. Si los polvos recogidos no son reciclables, su uso en otros productos comerciales allí donde sea posible también se considera una MTD.

5.2.2. Industria eléctrica

En centrales eléctricas convencionales alimentadas por carbón, el polvo de carbón fino se quema en

un horno a aproximadamente 1600 °C. El tiempo de retención del gas de combustión es como mínimo de 4 segundos a más de 1200 °C. Se ha informado sobre el uso habitual de precipitadores electrostáticos y desulfurización del gas de combustión, junto con la reducción de NO_x mediante reducción catalítica selectiva (RCS). La tabla 5.4 muestra las características principales de las centrales eléctricas alimentadas por carbón.

Tabla 5.4: Características principales de las centrales eléctricas alimentadas por carbón (RDC/Kema, 1999 en [1])

Parámetro	Condiciones
Temperatura de la llama	1600 – 2000 °C
Tiempo de retención del gas	> 4 s a una temperatura superior a 1200 °C
Exceso de oxígeno	3 % vol.
Eficiencia	40 – 45 %
Residuo	Escoria, ceniza volante, yeso

La coincineración de combustibles derivados de residuos en centrales eléctricas alimentadas por carbón y plantas de calefacción centralizada es relativamente común en el norte de Europa, pero no es habitual en la región mediterránea.

Las centrales eléctricas y las plantas de calefacción centralizada coincineran principalmente combustibles secundarios no peligrosos, tales como desechos de madera, paja y lodos secos de aguas residuales.

El residuo procedente de centrales eléctricas alimentadas por carbón es escoria, ceniza volante y yeso, lo cual puede reutilizarse. La producción de electricidad a partir de carbón requiere alrededor de 300 kg de carbón por MWh producido. Se argumenta que la incineración conjunta de residuos con carbón posee las ventajas de ahorrar recursos fósiles y es más eficiente que la incineración de residuos. La coincineración con residuos tiene un impacto potencial sobre las emisiones atmosféricas y la calidad del residuo. Las principales emisiones sobre las que influye la coincineración están ligadas a un contenido en metales pesados tales como mercurio (Hg) y talio (Tl). No obstante, sólo se excederán los límites de emisión si el contenido en Hg o Tl en los residuos es elevado (a niveles de hasta gramos por kg). La calidad de la ceniza volante se verá influida hasta cierto punto por la coincineración, dependiendo de las cantidades de elementos alcalinos (K y Na) en los residuos (RDC & Kema 1999 en [1]).

5.2.3. Pasta y papel

La producción de pasta y papel requiere cantidades considerables de vapor y energía. La mayoría de plantas papeleras producen su propio vapor en una o varias calderas industriales capaces de quemar combustibles fósiles o desechos de madera o corteza. Las papeleras que utilizan procesos químicos también queman su lejía residual en una caldera para recuperar productos químicos y generar electricidad. También se pueden quemar otros residuos, tales como mercaptanos, lodos de papel, papel recuperado no reciclable, etc. Algunas papeleras también cuentan con hornos de cal *in situ* para generar cal viva, en los cuales también se pueden quemar residuos.

Las restricciones a la coincineración en la industria de pasta y papelera no están relacionadas con la calidad del producto, excepto en el caso de la coincineración el licor residual. Los principales tipos de residuos utilizados son lodos de papel, lodos de destintado y residuos procedentes de papel de desecho (a menudo con contenido en plásticos), desechos de madera y corteza y serrín. La mayor parte de estos residuos se producen *in situ*.

5.2.4. Hornos de cal

La producción de cal viva (CaO) mediante la calcinación de piedra caliza en un horno es un proceso que requiere mucha energía, entre 900 y 1800 kcal/kg²⁰. Las temperaturas llegan a alcanzar los 1300 °C, con más de 5 segundos de tiempo de retención para expulsar el dióxido de carbono de la piedra caliza. Existen dos tipos de horno principales: hornos de cuba y hornos rotatorios.

En 1995 se publicó (*European Lime Association* tal como se informó en RDC y Kema 1999 [1]) que alrededor del 1 % del combustible consumido por la industria se derivaba de residuos, comprado con el 48 % del gas, el 36 % del carbón y el 15 % de combustible pesado. El espectro y las cantidades de combustibles derivados de residuos son muy reducidos, puesto que los residuos pueden influir en la calidad del producto final y sólo se pueden coincinerar combustibles derivados de residuos con bajo contenido en cenizas, tales como serrín, neumáticos triturados, metanol y otros disolventes de bajo grado, plásticos y aceites usados.

5.2.5. Hornos para cocer ladrillos

También se ha informado acerca de la coincineración de residuos en hornos para cocer ladrillos en algunos países. La temperatura alcanzada aquí es menor que en los hornos para cemento. No obstante, la industria afirma que el uso de materiales secundarios tales como paja, serrín, lodos de papel y poliestireno no obedece a requisitos energéticos, sino que se utilizan como agentes porosos, y que por lo tanto no constituye combustión/incineración, sino reciclaje.

5.2.6. Plantas de producción de hierro

La mayoría de residuos utilizados en la industria del hierro son subproductos del proceso o residuos reciclados en las propias instalaciones en la planta de sinterización para el reciclaje de materiales, más que para la sustitución energética. Sin embargo, existen informes recientes sobre el uso de plásticos granulados como combustible sustitutivo del coque en algunos altos hornos.

5.3. TECNOLOGÍAS

En esta sección se ha incluido una descripción de los tipos de tecnologías aplicadas a los diferentes sectores. Estas tecnologías representan estudios casuísticos para el desarrollo de instalaciones industriales disponibles para el uso de residuos peligrosos en la región mediterránea.

5.3.1. Central eléctrica alimentada por lignito

En este caso se utiliza una central eléctrica rehabilitada alimentada por lignito crudo con turbina de vapor para lignito. Está conectada una planta de desulfuración de gas (PDG) para reducir las emisiones de anhídrido sulfuroso, la cual trabaja utilizando el proceso húmedo: la harina de piedra caliza aditiva (CaCO₃) se sopla en el gas de combustión con agua. La harina de piedra caliza se añade al SO₂ en una proporción estequiométrica. El yeso PDG resultante puede utilizarse en el sector de la construcción de edificios. La planta PDG reduce el SO₂ en un 95 % y el polvo en un 90 %. Las emisiones de NO_x se reducen exclusivamente mediante medidas primarias. La central eléctrica posee una eficiencia eléctrica del 39 %.

²⁰ kcal/kg: kilocalorías/kilogramo

5.3.2. Central eléctrica alimentada por hulla

En este caso se utiliza una central eléctrica alimentada por hulla para carbón importado. La central eléctrica tiene una potencia nominal de 500 MW y una tasa de generación eléctrica neta del 43,5 %. Están conectadas una planta de desulfurización de gas (PDG), una planta de reducción de NO_x (DeNO_x) y un precipitador electrostático para reducir las emisiones. La PDG trabaja utilizando el proceso húmedo, basado en una proporción estequiométrica de piedra caliza-SO₂. Esto reduce las emisiones de SO₂ en un 90 %, las emisiones de polvo en un 90 % y las emisiones de HCl y HF en un 95 % cada una. La planta DeNO_x opera conforme al proceso RCS (reducción catalítica selectiva) con amoníaco como absorbente a una proporción estequiométrica. De este modo se reducen en un 85 % las emisiones de NO_x. El precipitador electrostático reduce las emisiones de polvo en un 99,5 % adicional. Para esta evaluación no se puede garantizar el cumplimiento de los valores umbral especificados en la Directiva de Incineración de Residuos (2000/76/CE).

5.3.3. Plantas cementeras

El proceso de cemento escogido es un horno seco equipado con precalentador de ciclón o de rejilla. El polvo es minimizado por un precipitador electrostático. El combustible primario básico utilizado en el proceso de cemento es la hulla. La tecnología utilizada en este módulo puede considerarse típica de un gran número de hornos para cemento en Europa.

5.3.4. Incinerador de residuos

El proceso de incinerador de residuos escogido es una planta de incineración de residuos sólidos municipales con combustión en parrilla y recuperación de energía. Representa un promedio estándar. La tecnología de limpieza del gas de combustión asegura el cumplimiento de los valores umbral de la nueva Directiva de la CE relativa la incineración de residuos. Las emisiones de gas de combustión por la chimenea constituyen la principal vía de emisión. Otros flujos de material son los residuos de incineración y los subproductos resultantes de la limpieza del gas de combustión. La planta trabaja sin aguas residuales de proceso. La limpieza del gas de combustión está dividida en varios pasos. En primer lugar, está instalado un precipitador electrostático (tres células) para minimizar el polvo y las cenizas. Además están instalados un secador por pulverización, un filtro de tejido, un lavador de ácido para la reducción de HCl, una planta de desulfurización de gas y de RCS para la reducción de NO_x. Se supone la utilización de un sistema de calderas moderno, con un 90 % del calor del horno transformado en vapor. En general, la eficiencia bruta de la generación de electricidad a partir de la incineración de residuos no es superior al 25 %. Tras descontar el consumo de la planta, puede suponerse que existirá un excedente de electricidad del 10 % que se cierta a la red pública. También existen plantas de incineración de residuos sólidos municipales con generación combinada de calor y electricidad (cogeneración), con una menor producción de electricidad pero con alimentación a redes de calefacción urbana.

5.3.5. Coincineración

También se procesa un amplio espectro de residuos industriales para su coincineración en procesos industriales como combustible secundario. Estos residuos incluyen plásticos y papel/cartón procedentes de actividades comerciales e industriales (p. ej. residuos de embalaje o desechos de producción, neumáticos de desecho, residuos de biomasa (p. ej. paja, madera de desecho no tratada, lodos secos de aguas residuales), residuos textiles, residuos de desguace de automóviles (residuos de fragmentadora de automóviles, RFA) y residuos industriales peligrosos tales como aceites residuales o de desecho, lodos industriales, serrín impregnado y disolventes usados. Estos residuos deben tener un elevado valor calorífico, presentar una calidad constante y ser baratos o incluso comportar el cobro de una tasa por hacerse cargo del residuo (*gate fee*). En los últimos años, el mercado de combustibles sustitutivos se ha mostrado muy boyante con la llegada de combustibles sustitutivos más baratos, tales como harina de carne y huesos tras las crisis de la EEB y las dioxinas.

5.4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

El informe de la Dirección General de Medio Ambiente acerca del combustible derivado de residuos [1] abordó la evaluación de los impactos ambientales de la producción y el uso de CDD comparando el uso de CDD en centrales eléctricas alimentadas por lignito y hulla, plantas cementeras y plantas de incineración de residuos peligrosos, aplicando un enfoque múltiple que incluye:

- Un análisis de ciclo de vida (ACV) considerando los beneficios o los inconvenientes generales del sistema de recuperación total de CDD.
- Una evaluación de impacto ambiental (EIA) estimando los impactos locales de la producción y el uso de CDD.
- Una evaluación de los impactos sobre los productos de sectores que coincieran CDD.

Los cálculos se basaron en las suposiciones de que los materiales (tanto el CDD como el combustible fósil) eran de calidad media, y de que la tecnología modelada para las instalaciones era de nivel medio a avanzado (con respecto a MTD) para la producción y el uso de CDD.

A continuación se presenta una breve descripción del ACV y la EIA, los cuales pueden utilizarse como instrumento para el sector de los residuos peligrosos.

Un análisis de ciclo de vida (ACV) evalúa los efectos ambientales generados durante la vida de servicio de una actividad humana. Analiza los impactos ambientales de un producto, su sistema o vida de servicio (de la cuna a la tumba) o, más exactamente, qué se requiere para que un producto actúe de una determinada manera.

Una evaluación de impacto ambiental (EIA) analiza los impactos ambientales de inversiones y plantas en ubicaciones específicas, considerando posibles alternativas. Se aplica a la toma de decisiones para actividades públicas y para otorgar permisos para algunas actividades privadas.

5.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El uso de combustibles secundarios es una opción económica importante. Dependiendo de las materias primas y de la tecnología de proceso utilizada (procesos húmedos, secos o semisecos/húmedos), la demanda de energía varía entre 2,8 GJ y 5,5 GJ²¹ para producir una tonelada de clínker. La eficiencia de conversión de energía, definida como el contenido energético del clínker dividido por las cantidades totales de energía entrante, alcanza un promedio del 44 % para los hornos para cemento en Europa.

Para las instalaciones de coincineración, si el requisito de la inversión en equipos adicionales de limpieza del gas de combustión se deriva del uso de residuos sólidos municipales (RSM), es obvio que la planta de coincineración podría adoptar la perspectiva de que el uso de RSM como combustible no es rentable.

Alternativamente, parecería perfectamente posible que la autoridad o la empresa de gestión de residuos local llegaran a un acuerdo con las instalaciones de coincineración en virtud del cual, en lugar de pagar por unas instalaciones de recuperación de energía dedicadas, la propia autoridad o empresa de gestión de residuos local haga la inversión necesaria (íntegra o parcialmente) para permitir a la planta hacer uso de RSM adhiriéndose a unos valores límite establecidos.

²¹ GJ: gigajulios

Si, por el contrario, se obligara a las instalaciones de coincineración a realizar la inversión independientemente del uso de RSM (lo cual parecería muy razonable desde una perspectiva ambiental), el asunto se convertiría en una cuestión de competitividad y supervivencia de la planta de coincineración. El coste marginal del uso de CDD sería cero. Probablemente, un uso más intensivo de CDD se convertiría en un mayor imperativo para el sector de lo que ya es actualmente.

6. VERTEDEROS DE RESIDUOS PELIGROSOS

6.1. INTRODUCCIÓN

Los vertederos son opciones de eliminación final habituales para residuos peligrosos. Constituyen esencialmente una actividad de construcción especial en la que los residuos constituyen la materia prima para el proceso. Todos los residuos recibidos en un vertedero deben ser pretratados o separados, puesto que el vertedero es un tratamiento finalista (es la última etapa del tratamiento).

La descripción genérica del proceso de vertido empieza con el suministro de materiales que entran en las instalaciones en un área de recepción y manipulación, en la que también pueden desarrollarse otras actividades de gestión de residuos. Tras la comprobación y la aceptación, se transportan los residuos al punto de eliminación. La actividad de desarrollo de vertederos está dividida en fases y, en cualquier momento, puede haber células en preparación, en funcionamiento o en proceso de restauración.

En ciertas categorías de vertedero, los residuos pueden descomponerse con el paso del tiempo y su naturaleza puede variar. En consecuencia, allí donde sea relevante, la provisión de medidas para controlar las emisiones de los productos de la descomposición, incluyendo los lixiviados y el gas de vertedero, forma parte integral de la actividad [4].

En las siguientes secciones se abordan tecnologías y prácticas ambientales aplicables a vertederos. Consisten en criterios generales para su diseño, explotación y clausura, enfáticamente recomendados para la región mediterránea. Conviene recordar que los vertidos incontrolados podrían tener impactos ambientales críticos.

6.2. ELEMENTOS DE GESTIÓN PARA VERTEDEROS DE RESIDUOS PELIGROSOS

Existen varios tipos de vertederos. Los objetivos de la clasificación de vertederos son:

- Considerar las situaciones y necesidades de eliminación de residuos en términos de combinaciones de tipos de residuos, tamaño del flujo de residuos y el potencial de generación significativa de lixiviados.
- Desarrollar clases de vertederos que reflejen el espectro de las necesidades de eliminación de residuos.
- Utilizar las clases de vertederos como base para establecer unos requisitos mínimos graduados para la selección, la investigación, el diseño, la explotación y la clausura rentables de vertederos.

La Directiva del Consejo 99/31/CE del 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos define categorías de residuos (municipales, peligrosos, no peligrosos e inertes) y se aplica a todos los vertederos. Los vertederos se dividen en tres categorías:

- Vertedero para residuos peligrosos.
- Vertedero para residuos no peligrosos.
- Vertedero para residuos inertes.

Se establece un procedimiento estándar de aceptación de residuos, a fin de evitar cualquier riesgo:

- Los residuos deben ser tratados antes de su vertido.

- Los residuos peligrosos deben ser asignados a un vertedero de residuos peligrosos.
- Los vertederos para residuos no peligrosos deben utilizarse para residuos municipales y para residuos no peligrosos.
- Los vertederos para residuos inertes deben utilizarse únicamente para residuos inertes.
- Los criterios para la aceptación de residuos de cada clase de vertedero deben ser adoptados por cada departamento de medio ambiente de cada país.

La siguiente información se basa en una directriz acerca de la determinación de las Mejores Tecnologías Disponibles (MTD) para actividades de vertido, desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Irlanda [4] para el cumplimiento de la Directiva del Consejo 99/31/CE relativa al vertido de residuos y la Directiva del Consejo 96/61/CE acerca de la prevención y el control integrados de la contaminación. Además, para el marco de la región mediterránea se han tomado en consideración [5] directrices sobre el diseño y la explotación de vertederos preparadas por el Centro Regional de la Convención de Basilea para la Formación y la Transferencia de Tecnología para los Países Árabes en El Cairo (Cairo-BCRC).

En la identificación de MTD, se pone el énfasis no tanto sobre el tratamiento en el punto de emisión como sobre las tecnologías de prevención de la contaminación.

6.3. DISEÑO DE VERTEDEROS

El objetivo general del diseño de vertederos es proporcionar unas instalaciones de residuos rentables y ambientalmente aceptables. Los objetivos específicos son:

- La mitigación de cualesquiera impactos adversos identificados en la investigación del emplazamiento y en la evaluación de impacto ambiental (EIA).
- La prevención de contaminación de aguas subterráneas y superficiales adyacentes relacionada con lixiviados.
- La provisión de material de recubrimiento suficiente para garantizar un funcionamiento ambiental y estéticamente aceptable.

Para lograrlo, el diseño debe basarse en unos conocimientos sólidos de las circunstancias ambientales, incluyendo (véase también la tabla 6.1):

- Proyecciones de calidad de los residuos y requisitos de la vida del emplazamiento.
- Requisitos de recubrimiento.
- Requisitos de eliminación de lixiviados.
- Instalaciones de apoyo al vertedero y requisitos de material de recubrimiento y de clausura.
- Requisitos de aguas superficiales y de sistemas de gestión de drenaje.
- Requisitos de control de gases.
- Determinación de la eliminación de materiales de desecho ya presentes en el emplazamiento.
- Requisitos dimensionales locales y de métodos de construcción.
- Disponibilidad de materiales, electricidad y agua locales, otros suministros.
- Clima.
- Factores económicos y sociales.

Tabla 6.1: Consideraciones para el diseño de vertederos

Factor a considerar	Aspectos del diseño
La naturaleza y cantidad de los residuos	Afecta directamente a las medidas de control ambiental
Control de aguas	Precipitación, escurrimiento de aguas superficiales y protección de aguas subterráneas o acuíferos
Protección del suelo y del agua	Selección del tipo de sistema de recubrimiento
Estabilidad	Estabilidad de la base del emplazamiento, sistema de recubrimiento, masa de residuos y sellado
Aspectos de desarrollo	Diseño de las instalaciones, planificación y procesos aplicados, construcción, explotación, clausura y gestión tras la clausura
Requisitos de monitorización	Provisión e instalación de puntos de monitorización dentro y fuera de las instalaciones
Uso posterior del vertedero	Compatibilidad con el uso posterior propuesto
Despliegue del vertedero en fases	Requisitos operativos y de restauración, ubicación de infraestructuras de las instalaciones
Gestión de lixiviados	Sistema de recogida e instalaciones de tratamiento/eliminación de lixiviados
Control del gas de vertedero	Potencial de migración del gas, recogida del gas, combustión/utilización del gas
Molestias ambientales	(a) durante la construcción, p. ej. ruido, polvo, barro (b) durante la explotación, p. ej. ruido, olores, polvo, basura, pájaros, parásitos e incendios

Se aplican variaciones de diseño especialmente en regiones áridas (algunos países de la región mediterránea, tales como Egipto).

A fin de asegurar el soporte de cimentación del suelo y establecer las limitaciones civiles y ambientales del emplazamiento, se deben adoptar las siguientes medidas:

- Realizar investigaciones hidrogeológicas.
- Definir la estratigrafía geológica.
- Establecer las profundidades y las direcciones de flujo de las aguas subterráneas.
- Definir las características de los suelos del emplazamiento.
- Preparar mapas base y topográficos.
- Recabar los datos de precipitación disponibles.

Los servicios especiales necesarios para conseguirlo son los siguientes:

- Un estudio del emplazamiento para recabar información topográfica y sobre los límites de la propiedad.

- Investigación geotécnica, consistente en la perforación y el análisis de suelos.
- Estudios geológicos, incluidas investigaciones superficiales y subsuperficiales.
- Investigaciones geohidrológicas, incluida la modelación de aguas subterráneas.
- Investigaciones geofísicas, incluidos estudios mediante georradar.

A continuación se presenta una selección de las medidas específicas a tener en cuenta, la explicación específica y la selección de MTD conforme a éstas.

6.3.1. Ubicación

La ubicación del vertedero debe tener un impacto mínimo en los componentes ambientales, así como en infraestructuras vitales como el transporte y en factores sociales y económicos.

Se debe llevar a cabo para cada emplazamiento candidato un estudio de viabilidad que incluya una evaluación preliminar del impacto ambiental y una investigación geohidrológica. Esto determinará si el impacto potencial del emplazamiento es ambiental y socialmente aceptable.

Este estudio debe realizarse para cada proyecto de vertedero en cada país. Las tres siguientes subsecciones presentan algunos puntos a tomar en consideración en relación con la ubicación de vertederos.

6.3.1.1. Vías de acceso

Durante la vida operativa del vertedero se requieren una vía de acceso debidamente construida y mantenida hasta el vertedero de residuos peligrosos y un sistema de vías dentro del vertedero, capaces de soportar todos los vehículos que transportan residuos. El acceso a los emplazamientos de eliminación constituye un problema considerable en varias comunidades en países en vías de desarrollo económico. Una accesibilidad deficiente conduce a la congestión e infrutilización del equipamiento de recogida. El acceso por carretera al emplazamiento debería ser suficiente para permitir la entrada y salida seguras y ordenadas, incluso durante periodos de meteorología inclemente.

El emplazamiento debería hacerse accesible mediante una carretera en todo tiempo debidamente afirmada, cuya anchura debe ser suficiente como para permitir el acceso de equipos de extinción de incendios en cualquier momento.

6.3.1.2. Distancia y capacidad

El emplazamiento seleccionado debería ofrecer la capacidad suficiente como para satisfacer las necesidades actuales y proyectadas de eliminación de residuos peligrosos en el área a la que presta servicio durante un mínimo de diez años. Este periodo de tiempo justifica las inversiones realizadas en el emplazamiento (tales como adquisición, estudios, vías de acceso y equipamiento).

El emplazamiento debería estar ubicado razonablemente cerca del centro de generación de residuos peligrosos o de la estación de transferencia. Típicamente, la distancia máxima recomendada es de un radio de 50 km desde el nodo de generación de residuos. Una sugerencia alternativa, y tal vez preferible, es que se considere el tiempo promedio necesario para llegar al emplazamiento, en lugar de la distancia. De este modo se tienen en cuenta otras variables además de la distancia, tales como el tráfico y la calidad de las carreteras. El tiempo máximo para un trayecto único debería ser de 30-45 minutos para los vehículos de recogida típicos (esto es, vehículos con capacidades de aproximadamente 5 toneladas). La excepción a este respecto la constituyen los vehículos de transporte de gran capacidad, tales como *trailers* de transferencia; en este caso podrían ser económicamente viables trayectos en un sentido de hasta 2 horas, si bien ello dependerá de las circunstancias locales.

6.3.1.3. Esbozos de la Evaluación de Impacto Ambiental

Una vez seleccionado un emplazamiento de vertedero candidato para criterios de desarrollo de la ubicación, se requieren investigaciones e informes detallados adicionales antes de iniciar el desarrollo del emplazamiento. La evaluación de los impactos ambientales potenciales de un vertedero suele tener lugar en paralelo a la investigación detallada del emplazamiento. Los objetivos de la evaluación de los impactos ambientales potenciales son:

- Identificar las diversas maneras en que un vertedero existente, propuesto o clausurado afectará a su entorno receptor.
- Garantizar que los impactos identificados puedan ser eliminados o mitigados (minimizados) por medio de un diseño y una explotación adecuados, combinados con una monitorización permanente.

La evaluación del impacto ambiental potencial de un vertedero se divide en dos fases:

- Evaluación de impacto ambiental (EIA): utiliza metodología aceptada para evaluar el impacto potencial ambiental de un vertedero sobre el entorno. Puesto que el entorno abarca el entorno social, la EIA debe incluir amplias consultas con todas las partes implicadas, incluida la comunidad local.
- Evaluación de las consecuencias ambientales del fallo: evalúa las consecuencias del escape de contaminantes de un vertedero en caso de fallo de diseño.

La mayoría de métodos de EIA dependen, o parten, de una lista de verificación de consideraciones que deberían formar parte del proceso de diseño. Esta lista de verificación puede utilizarse para identificar interacciones entre las características del emplazamiento, el diseño y la explotación, y sus impactos ambientales potenciales.

Con objeto de identificar interacciones, a menudo se utiliza una matriz bidimensional de identificación de impactos ambientales. Las acciones y los impactos incluirían aquellos vinculados a las siguientes fases del proyecto:

- Preparación y construcción del emplazamiento.
- Explotación.
- Clausura y rehabilitación.
- Uso posterior.

Las acciones y los impactos que constituyen los ejes de la matriz deben ser seleccionados por un equipo cualificado con representación multidisciplinar.

6.3.2. Límites de la propiedad

El objetivo es mantener un área de separación entre el vertedero y otras estructuras civiles, a fin de minimizar el potencial de acumulación de gas metano originado en el vertedero y otras fuentes de contaminantes (tales como los lixiviados) en estructuras cercanas al vertedero. Otro objetivo es minimizar el impacto visual asociado a los vertederos desde carreteras cercanas.

No debería haber áreas residenciales, ni existentes ni planificadas, en un radio de 500 metros desde el límite del emplazamiento de eliminación. Asimismo, el vertedero debería contar con una zona tampón de terreno no utilizado. La zona tampón entre el vertedero de residuos sólidos o peligrosos descargados y los límites de la propiedad debería ser de al menos 50 metros, estando los 15 metros más cercanos al límite de la propiedad reservados para apantallamiento natural o paisajístico (arcenes o pantallas de vegetación). La distancia entre el vertedero de residuos sólidos o peligrosos descargados y la residencia, el pozo de abastecimiento de agua, la toma de abastecimiento de agua, el hotel, el restaurante, la planta de procesamiento de alimentos, el hotel, el colegio o el parque público más próximos varía entre un radio de 300 metros y 1,6 kilómetros.

6.3.3. Geología

El objetivo es minimizar las probabilidades de ubicar el vertedero en áreas como terrenos kársticos, áreas de avalancha o áreas con movimiento de masas, susceptibles a eventos o fuerzas capaces de dañar el sistema de contención del vertedero y de impactar en el sistema de monitorización ambiental.

Los vertederos de residuos no deberían ubicarse en suelos con drenaje pobre o muy pobre, tales como los propios de humedales, ni deberían emplazarse en suelos excesivamente drenados. Al excavar hasta la base del futuro vertedero, se deberían excavar un mínimo de dos pozos de sondeo de dos metros de profundidad por hectárea del emplazamiento, y los suelos deben ser analizados y fotografiados para confirmar su aptitud para soportar la instalación.

Las siguientes subsecciones ofrecen explicaciones específicas de las características geológicas importantes para vertederos.

6.3.3.1. Terrenos kársticos

Se denomina terrenos kársticos a áreas en las que se ha desarrollado una topografía kárstica, con sus características superficiales y subterráneas típicas, como resultado de la disolución de piedra caliza, dolomita u otras rocas solubles. Los rasgos fisiográficos característicos presentes en los terrenos kársticos incluyen, entre otros, sumideros, arroyos hundidos, cuevas, grandes manantiales y valles ciegos. Otras rocas, tales como dolomita o yeso, también pueden verse sujetas a efectos de disolución.

6.3.3.2. Áreas susceptibles de movimientos de masas

Se trata de aquellas áreas de influencia (p. ej. áreas caracterizadas por presentar una posibilidad activa o sustancial de movimiento de masas) en las que el movimiento de material de terreno en, debajo de o adyacente a la unidad de vertedero, a causa de eventos naturales o debidos a la actividad humana, influye en el transporte pendiente abajo de material del suelo y roca mediante la influencia gravitacional. Las áreas de movimientos de masas incluyen, entre otras, desprendimientos de tierras, deslizamientos y flujos de derrubios, solifluxión, deslizamiento de bloques y caída de rocas.

6.3.3.3. Áreas de avalancha

El objetivo de este criterio es minimizar las probabilidades de que áreas asociadas a avalanchas (pendientes pronunciadas y áreas con precipitación intensa ocasional) puedan dañar el sistema de contención del vertedero y afectar negativamente a su rendimiento. Puesto que los datos sobre áreas proclives a las avalanchas son limitados, a efectos de esta evaluación se utilizará topografía escarpada como sustituto de las áreas proclives a las avalanchas.

6.3.3.4. Suelos

Los vertederos de residuos no deberían emplazarse en suelos con drenaje pobre o muy pobre, tales como los propios de humedales, ni deberían emplazarse en suelos excesivamente drenados. Al excavar hasta la base del futuro vertedero, se deberían excavar un mínimo de dos pozos de sondeo de dos metros de profundidad por hectárea del emplazamiento, y los suelos deben ser analizados y fotografiados para confirmar su aptitud para soportar la instalación.

6.3.4. Naturaleza

Se debe seleccionar el emplazamiento de forma que no estén presentes dentro de sus límites hábitats ni áreas de reproducción conocidas de especies ambientalmente amenazadas o raras; asimismo, el perímetro de un emplazamiento no debería hallarse a una distancia inferior a 250 metros de áreas protegidas.

6.3.4.1. Especies amenazadas

El objetivo de este criterio es minimizar la amenaza planteada por un vertedero de causar la destrucción o una alteración adversa del hábitat crítico de una especie en peligro de extinción o amenazada, poniendo en peligro la supervivencia de especies amenazadas o en peligro de extinción o contribuyendo a la captura de especies amenazadas o en peligro de extinción. Toda propiedad que contenga hábitats críticos de una especie amenazada o en peligro de extinción listada conforme a leyes de los organismos de asuntos ambientales locales deberá ser excluida del proceso de ubicación del vertedero, en caso de que éste pueda causar la destrucción o una alteración adversa del hábitat crítico de una especie en peligro de extinción o amenazada, poner en peligro la supervivencia de especies amenazadas o en peligro de extinción o contribuir a la captura de especies amenazadas o en peligro de extinción.

6.3.5. Drenaje

Se requiere la desviación de las aguas superficiales para evitar el contacto de las aguas negras pluviales con los residuos. Se debería minimizar la captación y el escurrimiento desde el emplazamiento. Todas las zanjas de drenaje, los estanques de evaporación y los paulares (extensiones de terreno bajas, en forma de depresión) deberían estar debidamente diseñadas y suficientemente alejados de los residuos para evitar que éstos absorban el agua acumulada.

Para la minimización de las emisiones de agua subterránea, el solicitante debería prever procedimientos para asegurar que el sistema de recubrimiento no sufra daños, y para garantizar que el vertido continuado de residuos no comprometa la estabilidad del sistema de recubrimiento. Para todos los vertederos se deben acordar y establecer niveles de activación para la calidad del agua subterránea, basados en las condiciones hidrogeológicas específicas del área, teniendo en cuenta la dirección y la pendiente del flujo de agua subterránea [5].

6.3.5.1. Distancia hasta las aguas superficiales y a áreas ambientalmente sensibles

El objetivo de este criterio es minimizar deficiencias en la monitorización del escurrimiento de las aguas negras pluviales, así como la entrada de agua subterránea contaminada que conduce a la merma de los usos beneficiosos de aguas superficiales cercanas debido a sustancias químicas peligrosas y nocivas derivadas del vertedero. El fallo inevitable de los sistemas de recubrimiento y contención de los vertederos de residuos peligrosos y la escasa fiabilidad de los sistemas de monitorización del agua subterránea utilizados en algunos vertederos significan que en última instancia, en caso de que existan rutas de flujo de agua subterránea poco profundas desde la base del vertedero hasta sistemas de aguas superficiales, los vertederos *in situ* contaminarán con sustancias químicas peligrosas y nocivas no sólo las aguas subterráneas sino también las aguas superficiales. Puesto que esta contaminación puede producirse durante muchas décadas tras la clausura del vertedero, es esencial adoptar las medidas oportunas para monitorizar el transporte de sustancias químicas peligrosas y nocivas a las aguas superficiales por parte de las aguas subterráneas poco profundas.

6.3.5.2. Distancia hasta lagos o estanques

El objetivo de este criterio es minimizar las probabilidades de que un escurrimiento de aguas superficiales desde un vertedero impacte en un lago o estanque perenne con escurrimiento contaminado, carga de sedimentos o residuos. Toda propiedad situada a menos de 200 metros de estanques, marismas y pantanos o alrededor de lagos perennes que sean de origen natural o contengan agua para uso no industrial, deberá ser excluida del proceso de ubicación del vertedero.

6.3.5.3. Distancia hasta ríos o arroyos

El objetivo de este criterio es minimizar las probabilidades de que un escurrimiento de aguas superficiales desde un vertedero impacte en un río o arroyo perenne con escurrimiento contaminado,

carga de sedimentos o residuos. Toda propiedad situada a menos de 100 metros de la orilla de cualquier río o arroyo perenne (ambas orillas) deberá ser excluida del proceso de ubicación del vertedero. Se recomiendan las siguientes distancias mínimas: a 250 metros de cuerpos de agua corriente de anchura inferior a 3 metros; a 300 metros de cuerpos de agua corriente de anchura igual o superior a 3 metros.

6.3.5.4. Humedales

El objetivo de este criterio es minimizar el potencial de impacto sobre hábitats o especies de humedales, la calidad del agua o la degradación de los humedales asociada a un vertedero peligroso. Cualquier propiedad que sea designada como humedal por un mapa de inventario nacional de humedales deberá ser excluida del proceso de ubicación del vertedero. No se deben verter residuos peligrosos en humedales ambientalmente importantes con una biodiversidad significativa.

6.3.5.5. Características costeras

El límite del vertedero debería hallarse a una distancia mínima de 150 de una costa marina.

6.3.5.6. Distancia hasta aguas de procesos industriales

El objetivo de este criterio es minimizar las probabilidades de que un escurrimiento de aguas superficiales desde un vertedero impacte en un estanque de aguas de proceso o aguas pluviales con escurrimiento contaminado, carga de sedimentos o residuos. Toda propiedad situada en un radio inferior a 100 metros alrededor de cualquier estanque de gestión de aguas de proceso o aguas pluviales deberá ser excluida del proceso de ubicación del vertedero.

6.3.5.7. Llanuras de inundación

El objetivo de este criterio es minimizar las probabilidades de que flujos de aguas pluviales negras asociadas al evento de inundación secular (1) perturben y erosionen el recubrimiento del vertedero, (2) perturben y arrastren residuos presentes en el emplazamiento o (3) impacten en sistemas de monitorización ambiental. Asimismo, el objetivo es minimizar las probabilidades de que el vertedero restrinja los flujos asociados al evento de inundación secular o reduzca la capacidad de acumulación de agua de la llanura de inundación. Toda propiedad situada en llanuras de inundación secular deberá ser excluida del proceso de ubicación del vertedero.

6.3.6. Recubrimiento final

El recubrimiento final para vertederos debe consistir en un mínimo de 1,5 metros de tierra compactada de baja permeabilidad ($< 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}^{22}$) más un mínimo de 0,15 metros de tierra vegetal con la vegetación aprobada establecida. La profundidad de la capa de tierra vegetal debería ir en función del tipo de vegetación propuesto.

Podrían aprobarse suelos con mayor permeabilidad en función del potencial de generación de lixiviados en el vertedero. El recubrimiento final debe construirse con pendientes de entre el 4 % y el 33 %, con los controles de drenaje de captación/escurrimiento y de erosión adecuados.

El recubrimiento final debe instalarse en un plazo de 90 días desde la clausura del vertedero o en

²² cm/s: centímetros/segundo

aquellas áreas del vertedero que no vayan a recibir más desechos durante el siguiente año. Las porciones completadas del vertedero deben ir recibiendo el recubrimiento final progresivamente durante la vida activa del vertedero [5].

6.3.7. Sistemas de evacuación o recuperación y gestión de gas

Se requieren para vertederos cuya capacidad total exceda de 100 000 toneladas. Deberá realizarse una evaluación de las emisiones potenciales de compuestos orgánicos sin metano (NMOC), el grupo sucedáneo de compuestos gaseosos asociados al gas de vertedero. Si la evaluación indica que las emisiones de NMOC exceden o se prevé que excedan de 150 toneladas/año, es obligatoria la instalación y utilización de sistemas de recuperación y gestión de gas de vertedero. Si está instalado un sistema de recuperación y gestión de gas de vertedero, se debe evitar la evacuación directa al aire de los gases recogidos; en su lugar se recomienda su utilización subsiguiente para la recuperación de energía. Se debe favorecer la combustión, incluso por incineración o combustión en antorcha, sobre la evacuación directa a la atmósfera, a fin de reducir los olores y las emisiones de gas de efecto invernadero [5].

6.3.8. Contorno final del emplazamiento

Los patrones de drenaje del área circundante requieren que la base de estructura temporal de cada área de vertido y la cima de cada elevador tengan acceso de rampa a las áreas de trabajo con una pendiente mínima del 3 % (carreteras internas) para la precipitación en 24 horas con una recurrencia de 10 años en el área. Las rampas deben estar diseñadas y mantenidas para evitar la erosión, especialmente la erosión del recubrimiento de base y del material de recubrimiento final. También cabe considerar la protección de pendientes permanentes mediante vegetación, especialmente en áreas proclives a la erosión del suelo. Los contornos finales del vertedero completado deberían presentar una pendiente de como mínimo el 3 % y como máximo el 20 %, y deberían tener en cuenta el uso final del emplazamiento. Se debe procurar mantener unas pendientes adecuadas cuando tenga lugar compactación tras la clausura del vertedero [5].

6.3.9. Uso de la energía

Las instalaciones de vertedero consumen cantidades relativamente escasas de energía, y sus usos principales son:

- Calefacción, luz y electricidad en edificios de la instalación.
- Electricidad para equipos de la instalación, tales como lavado de ruedas, puente-báscula, bombas, procesos de tratamiento, alumbrado, etc.
- Combustible para vehículos automóviles.

El solicitante debería cuantificar el consumo de energía en la instalación según la fuente de energía, demostrar que se ha considerado la eficiencia energética en el diseño y que los procedimientos de compra, explotación y mantenimiento optimizan el consumo energético de la instalación [4].

6.3.10. Materias primas

El requerimiento de describir las materias primas se refiere a la cantidad y la naturaleza de los residuos que se eliminarán y a cualesquiera materiales auxiliares que se utilizarán en la instalación [4].

6.3.11. Polvo/partículas finas (PM10) y olores

Generalmente, el impacto de las partículas finas (PM10) se limita a tipos de residuos muy finos o a polvo muy fino generado durante fases de construcción. No se considera un riesgo significativo para

los vertederos. Algunas técnicas de control son, por ejemplo, el tratamiento previo de los residuos polvorientos con agua.

En los vertederos se emiten olores desagradables procedentes de diversas fuentes, especialmente:

- residuos malolientes;
- lixiviados y gas de vertedero.

Las técnicas de control son:

- Minimización del área de vertido abierta
- Reposición, compactación y recubrimiento rápidos de los residuos.
- Entierro inmediato de residuos malolientes.
- Restricción de cargas conocidas como particularmente olorosas.
- Restricción de actividades de vertido durante periodos de meteorología adversa.
- Mejora y sellado de cubiertas de sumidero.
- Aireación de áreas de almacenamiento de lixiviados.
- Mejoras en la recogida del gas de vertedero y de los sistemas de combustión.
- Recubrimiento o entierro de los residuos excavados durante la instalación de los sistemas de gestión de lixiviados o gas de vertedero y utilización de sprays o aerosoles neutralizadores del olor en épocas en las que la monitorización climática o de aceptación de residuos del vertedero indique un incremento del riesgo para receptores identificados [5].

6.4. VERTEDEROS EN FUNCIONAMIENTO

Los vertederos de residuos peligrosos (VRP) tienen una serie de requisitos operativos relacionados con la explotación rutinaria, la gestión y la monitorización ambiental [5].

Los requisitos operativos se aplican a nuevas unidades VRP, unidades VRP existentes y ampliaciones laterales de unidades VRP existentes. Los objetivos de los requisitos operativos mínimos son:

- Garantizar que todos los residuos sean eliminados de una manera ambiental y socialmente aceptable.
- Garantizar que las operaciones de eliminación sean aceptables para aquellos a quienes afectan.

Existen algunas directrices y MTD que se deben tomar en consideración (en la región mediterránea) para los vertederos en funcionamiento:

6.4.1. Requisitos primarios

Las MTD para la manipulación y eliminación de residuos en un vertedero se refieren a [4] un sistema de gestión ambiental (SGA) que incorpore los siguientes aspectos:

- Estructura de gestión y de informes.
- Calendario de objetivos y metas ambientales.
- Informe ambiental anual (IAA).
- Programa de gestión ambiental (PGA).

- Sistema de documentación.
- Procedimientos de acción correctiva.
- Programa de concienciación y formación.
- Programa de comunicación.
- Procedimiento de aceptación de residuos.
- Sistema de gestión de residuos para todos los residuos.
- Almacenamiento y manipulación apropiados.
- Gestión de lixiviados y gas de vertedero.

La manera en que se gestiona una instalación es un elemento crítico para asegurar la minimización de las emisiones de un vertedero. En consecuencia, la gestión de instalaciones debe garantizar que:

- el personal sea competente para gestionar y operar la instalación, esto es, una persona apta y apropiada;
- exista un sistema de gestión ambiental para asegurar el cumplimiento de las normas, incluidos los procedimientos de gestión de incidentes y quejas.

Otro aspecto importante es la aceptación de residuos. La naturaleza de los residuos depositados en un vertedero y la manera en que se manipulan dichos residuos pueden tener un efecto significativo sobre el potencial de un vertedero para causar contaminación o perjuicios para la salud.

El control de los residuos introducidos en la instalación es uno de los aspectos operativos más importantes. El depósito de residuos para los cuales está diseñada la instalación y por tanto tiene permiso para aceptar puede tener un efecto directo en el potencial de contaminación/molestias de la instalación. Es esencial que se apliquen medidas para asegurar que sólo se depositen residuos para los cuales esté diseñada la instalación y que estén permitidos por la licencia. Entre estas medidas se deben contar, como mínimo con:

- medidas aplicadas para documentar íntegramente los residuos que llegan a la instalación;
- criterios claros para la recepción de residuos.

6.4.2. Agua

Las aguas residuales en instalaciones de vertido se originan en el vertedero, como por ejemplo escurrimiento de aguas pluviales contaminadas, lixiviados y condensado de gas de vertedero, así como de actividades auxiliares y la infraestructura de la instalación, tales como drenaje de aguas sanitarias, lavado de ruedas y plataformas.

Las MTD hacen referencia a agua descargada directamente en las aguas superficiales o al alcantarillado como efluentes industriales. El tratamiento requerido dependerá de los límites de emisión permitidos especificados en la licencia de residuos. Las provisiones de tratamiento incluirán habitualmente desde cajas de captación/interceptadores de aceite para escurrimiento superficial hasta el tratamiento biológico y fisicoquímico de los lixiviados, dependiendo del receptor de la descarga [4].

Esta sección ha sido dividida en dos partes: una para descarga y la otra el efluente de lixiviados.

6.4.2.1. Descarga a aguas superficiales, al alcantarillado y a aguas subterráneas

Sólo el agua de tejado y el agua procedente de áreas no pavimentadas (no incluidas en la huella del vertedero) son aptas para la descarga directa a las aguas superficiales.

Para la descarga a alcantarillas de aguas sanitarias, la calidad del efluente final debe cumplir los

estándares establecidos por la autoridad de alcantarillado receptora para el tratamiento adecuado de las aguas residuales que recibe.

La legislación de cada país debería prohibir la emisión directa a las aguas subterráneas de efluentes que contengan ciertas sustancias peligrosas y exigir controles estrictos para evitar las emisiones indirectas de sustancias contaminantes. La supresión del riesgo de emisiones a las aguas subterráneas mediante los controles apropiados es una MTD para la instalación y requiere asimismo la provisión de monitorización de las aguas subterráneas para posibilitar la detección precoz de cualquier contaminación de las aguas subterráneas que pudiera derivarse de la instalación y el establecimiento de sus límites superiores.

6.4.2.2. Efluentes de lixiviados

La descarga de plantas de tratamiento de lixiviados puede entrar en cursos de agua superficiales o en alcantarillas, o bien ser eliminada mediante irrigación por aspersión en tierra. Al aplicar las mejores prácticas ambientales a la descarga procedente de sistemas de tratamiento se ha partido de los siguientes supuestos:

- La descarga no tiene ningún impacto significativo en el cuerpo de agua o el sistema de alcantarillado receptor.
- Los sistemas que descargan a las aguas superficiales son robustos y proporcionan un efluente de calidad elevada y constante.
- La descarga cumple los estándares de calidad ambiental (ECA), teniendo en cuenta la capacidad asimilativa del agua receptora.
- La carga contaminante de las descargas de agua procedentes de vertederos de residuos peligrosos dependerá plenamente de los residuos depositados.

6.4.3. Aire

Las emisiones al aire pueden ocurrir como gases de proceso procedentes de plantas de reducción o como emisiones fugitivas procedentes de la degradación de residuos. Las directrices MTD pretenden regular ambas, puesto que ambas pueden ser reguladas eficazmente.

Por lo que respecta a las emisiones de vehículos, es necesario poner en marcha procedimientos para garantizar que todos los vehículos estén bien mantenidos y por lo tanto funcionen eficientemente. Como parte de la evaluación de la eficiencia energética de la instalación, deberían preverse procedimientos para analizar el consumo de combustible por todos los vehículos en las instalaciones.

Las emisiones potenciales al aire y las directrices de técnicas de eliminación y control serán similares a la siguiente lista:

- Olores de residuos, gas, lixiviados y agua de superficie contaminada.
- Emisión directa de gas de vertedero.
- Productos de combustión/oxidación procedentes de la combustión en antorcha de gas de vertedero, la utilización de gas de vertedero, la combustión de gas residual y el tratamiento biológico de gas de vertedero.
- Polvo procedente de residuos y de actividades operativas/de ingeniería.
- Ruido procedente de la planta fija – antorchas/motores/planta de tratamiento de lixiviados, y de vehículos y maquinaria utilizados en explotaciones de residuos.
- Basura.
- Emisiones de vehículos.
- COV, emisiones de fibras de amianto.

6.4.3.1. Emisiones de gases fugitivos

Éstas incluyen emisiones de gas al suelo que rodea al cuerpo del residuo, a la atmósfera y en el interior de edificios.

6.4.3.2. Emisiones de gas de proceso

Se han preparado diferentes valores límite de emisión (VLE) para antorchas de gas de vertedero y plantas de utilización de gas de vertedero, puesto que éstas emiten diferentes espectros de gases y en condiciones óptimas alcanzan límites distintos.

El principal proceso regulado es la oxidación, o combustión, del metano en dióxido de carbono. Durante este proceso se destruyen también otros componentes menores del gas.

El control de las condiciones de combustión, en términos de concentración de monóxido de carbono, temperatura y tiempo de retención, en lugar de en términos de emisiones, es considerado por muchos organismos reguladores como el método más eficaz para definir la MTD, p. ej. asegurando que la combustión tenga lugar a 1000 °C con un tiempo de retención del producto de 0,3 segundos dentro de la zona combustión.

6.4.3.3. Olores

Existe un requisito general de concesión de licencia según el cual los olores no deben resultar en un menoscabo significativo de los servicios o el entorno más allá de los límites de la instalación.

6.4.3.4. Ruido

En un vertedero puede generarse un ruido continuo (p. ej. el funcionamiento del equipamiento y vehículos) e intermitente (p. ej. cañones de gas para ahuyentar a los pájaros y voladuras).

Algunas técnicas de control son:

- Construcción de pantallas de protección acústica permanentes y temporales en el perímetro de la instalación.
- Construcción de una zona tampón entre la instalación y el entorno externo, selección del equipamiento.
- Instalación de dispositivos silenciadores en la planta y el equipamiento operativos.
- Selección de equipamiento que cumplan las normas sobre ruido de la UE.
- Uso de pantallas acústicas alrededor de plantas y equipamientos fijos/móviles.
- Uso de edificios para contener plantas y equipamientos fijos inherentemente ruidosos.
- Predicción del impacto acústico en ubicaciones sensibles al ruido especificadas, utilizando niveles de potencia acústica estandarizados para la planta de construcción.
- Ubicación de plantas ruidosas y tonales, tales como antorchas, plantas de utilización y estaciones de bombeo de lixiviados, lejos de emplazamientos residenciales, tomando en consideración la topografía del emplazamiento y de las áreas circundantes.
- Evaluación de la severidad del impacto acústico sobre las áreas residenciales debido a un nuevo proyecto de desarrollo. Esto se refiere específicamente a proyectos de desarrollo industriales, pero se utiliza habitualmente para otras aplicaciones y está siendo revisado actualmente.

6.4.3.5. Vibraciones

Podrían producirse emisiones de vibraciones cuando un vertedero esté desarrollado en el

emplazamiento de una cantera donde todavía se estén realizando voladuras. Sin embargo, generalmente esto no es aplicable.

6.4.4. Compactación de residuos y recubrimiento del suelo

Los residuos deben ser distribuidos en capas finas (0,6 m o menos) sobre la superficie de trabajo y deben ser compactados. Normalmente, basta 3-5 pasadas del equipamiento compactador sobre los residuos para alcanzar una densidad adecuada. Si el vertedero funciona continuamente las 24 horas del día, se debe aplicar 0,15 m de material de recubrimiento con la frecuencia aprobada [5].

6.4.5. Pretratamiento de residuos peligrosos

Debido a las propiedades de ciertos residuos peligrosos, no pueden ser depositados directamente en un vertedero de forma segura. En tales casos, es preciso pretratar los residuos para inmovilizarlos o reducir su toxicidad o reactividad.

Existen diversas opciones de tratamiento, las cuales a menudo están interrelacionadas pero podrían categorizarse generalmente en métodos de tratamiento físicos, químicos y biológicos. Los procesos químicos incluyen la neutralización, la precipitación, la fijación y la oxidación. Los procesos físicos incluyen la incineración, el mezclado y la encapsulación. Los procesos biológicos incluyen la degradación aeróbica y anaeróbica de materiales orgánicos.

6.4.6. Desclasificación de residuos como peligrosos

La desclasificación de residuos como peligrosos implica el tratamiento o pruebas de nivel de peligrosidad para confirmar que el residuo tiene tan poca movilidad o concentración que puede ser reclasificado con un nivel de peligrosidad menor.

6.4.7. Coeliminación y residuos prohibidos

La coeliminación de residuos peligrosos sólidos y líquidos diferentes debe ser controlada y prohibida, a no ser que sea aprobada específicamente por el director. Los siguientes residuos están sujetos a coeliminación:

- Líquidos a granel y lodos semisólidos que contienen líquido libre.
- Residuos líquidos o semisólidos, incluidas aguas residuales, aguas negras, lodos de tratamiento de aguas servidas, etc.
- Automóviles, electrodomésticos, otros objetos metálicos de gran tamaño y neumáticos (a no ser que estén disponibles o sean viables opciones de reciclaje).
- Residuos biomédicos tal como son definidos por los organismos de asuntos ambientales locales.
- Animales muertos y residuos de mataderos, piscifactorías y residuos ganaderos o residuos y subproductos de conserveras.

6.4.8. Rebusca

Debería evitarse la rebusca entre los residuos. Debería promoverse la recuperación de residuos, proporcionando áreas e instalaciones para la separación de materiales reciclables o reutilizables.

6.4.9. Control de basuras

Se debe controlar la basura compactando los residuos, minimizando el área de la superficie de trabajo, aplicando recubrimiento con las frecuencias apropiadas, proporcionando vallas de control de basuras e instituyendo una recogida regular de basuras y programa de buena administración general o cualquier otra medida necesaria.

Existen algunas otras técnicas de eliminación, tales como la segregación de residuos para separar la fracción ligera del flujo de residuos, la preclasificación de residuos antes de depositarlos en el vertedero y la trituración o el tratamiento de los residuos bajo cubierto y antes de depositarlos.

6.4.10. Incineración al aire libre

Está prohibida la incineración al aire libre de residuos peligrosos típicos en vertederos.

6.4.11. Rótulos

Todos los vertederos deberían tener rótulos colocados en cada entrada con toda la información, como por ejemplo el nombre de la instalación, el número de teléfono de contacto y la dirección del propietario y operador o el número de teléfono para emergencias.

6.5. CLAUSURA DEL VERTEDERO

6.5.1. Cese de la eliminación de residuos

El cese de la aceptación de residuos en un vertedero inicia una revisión de la licencia de residuos. Esta revisión permite enmendar la licencia para reflejar el cambio de actividad *in situ* cuando la instalación pasa de la etapa operativa a la etapa de restauración y cuidado posterior. Las enmiendas de la licencia reflejarán la evaluación de los requisitos del licenciatario por parte de la Agencia, para garantizar que la instalación continuará siendo gestionada adecuadamente.

6.5.2. Restauración y cuidado posterior

La restauración es un proceso que devolverá un emplazamiento a un estado apto para el uso posterior escogido. La restauración incluye el esparcimiento del suelo, la construcción de la geomorfología final, tareas de arquitectura paisajística y cuidado posterior.

El cuidado posterior implica cualquier medida que sea necesario adoptar en relación con la instalación, a fin de evitar la contaminación ambiental después del cese de las actividades de vertido en la instalación y el recubrimiento y la restauración del emplazamiento. La duración de este periodo de cuidado posterior variará en función del emplazamiento, y el licenciatario continuará siendo responsable del cuidado posterior hasta que la Agencia acepte la renuncia a la licencia de residuos (Leyes de gestión de residuos 1996-2003, S48).

6.5.3. Mantenimiento de sistemas de control de la contaminación ambiental

Hasta que la Agencia de Protección Ambiental (APA) acepte la renuncia a la licencia, el licenciatario/operador es responsable de la gestión ambiental de la instalación. Durante el cuidado posterior, el licenciatario/operador debe asegurarse de que se mantengan y permanezcan efectivos los siguientes sistemas de control de la contaminación:

- El sistema de control del gas de vertedero.

- La recogida, el tratamiento y el sistema de eliminación de lixiviados.
- El recubrimiento del vertedero.
- Monitorización de las aguas subterráneas.
- Todos los componentes en superficie, tales como bocas de pozo de gas, agujeros de hombre de bombeo de lixiviados y perforaciones de monitorización.

7. DESARROLLO FUTURO DEL SECTOR

En esta sección se analizan tecnologías emergentes. Una tecnología emergente es una técnica novedosa que todavía no ha sido aplicada en ningún sector industrial en un contexto comercial. Estas tecnologías podrían aparecer en un futuro próximo.

La información sobre estas tecnologías sólo estaba disponible para el tratamiento y la incineración de residuos.

7.1. TRATAMIENTO DE RESIDUOS

7.1.1. Análisis en línea

Puede utilizarse para todas las aplicaciones en el ámbito de la preparación de combustibles sólidos recuperados. Se utiliza para materiales triturados o no triturados con eliminación automática de materiales que no satisfagan los criterios de calidad para combustibles sólidos recuperados, especialmente si se exceden los valores de cloro o bromo. El modo de funcionamiento se basa en un nuevo análisis de fluorescencia por neutrones, con análisis de alta velocidad, de manera que pueda analizarse o detectarse una gran cantidad de materiales triturados o no triturados por hora y pueda ser eliminada automáticamente mediante stock nominal descubierto. Este instrumento parece ser actualmente el instrumento de análisis de mano más rápido y exacto para prácticamente todo el reciclaje de metales, plásticos, madera vieja, vidrio, material molido, residuos, barro y metal no ferroso.

7.1.2. Tiempos de degradación biológica en procesos TMB

Los tiempos mínimos de degradación biológica requeridos para satisfacer los criterios de vertedero con la suficiente fiabilidad operativa deberán ser determinados mediante la experiencia futura con las nuevas plantas TMB (tratamiento mecánico biológico) optimizadas.

7.1.3. Inmovilización de cloros de metales pesados:

Un método para la estabilización de residuos de metales pesados generados en el proceso de vitrificación de cenizas volantes se basa en la conversión por lotes de cloros de metales pesados con dihidrogenofosfato de amonio, la conversión de cloros de metales pesados en fosfato y su inmovilización en una matriz de cristal de fosfato.

7.1.4. Estabilización de residuos del TGC con sulfato ferroso

Esta estabilización implica un procedimiento en cinco pasos, en el que los materiales sólidos son mezclados en primer lugar con una solución de FeSO_4 y a continuación aireados con aire atmosférico a L/S 3 l/kg a fin de oxidar el Fe(II) a Fe(III) y precipitar óxidos de hierro. Este paso también incluye la extracción de sales solubles. Posteriormente se mantiene estable el pH de la suspensión a un pH básico durante aproximadamente 1 hora, para permitir que los metales pesados disueltos queden ligados a los óxidos de hierro precipitados. El cuarto paso del proceso es la deshidratación, y finalmente un paso de lavado para cambiar el agua remanente y eliminar las sales remanentes. El producto estabilizado final tiene un contenido en agua de alrededor del 50 %. La principal ventaja de

este proceso de estabilización reside en las propiedades de lixiviación mejoradas del producto final. Puede aplicarse como parte integrada del incinerador, pero también puede existir como planta de tratamiento centralizada que procese residuos procedentes de varios incineradores. El coste de tratamiento se estima en alrededor de 65 €/tonelada con una capacidad de la planta de 20 000 toneladas/año, incluyendo los costes de inversión.

7.1.5. Estabilización de restos de TGC con dióxido de carbono y fosfato

Los agentes químicos aquí utilizados son CO₂ o H₃PO₄. Este proceso implica un procedimiento en dos pasos en el que los residuos entrantes se lavan primero con L/S 3 l/kg para extraer sales solubles. A continuación, se deshidrata el material y se lava de nuevo en un filtro-prensa con L/S 3 l/kg. Posteriormente se resuspenden los residuos y se añade CO₂ o H₃PO₄. Se permite que las reacciones de estabilización se produzcan durante 1-1,5 horas mientras el pH disminuye. Finalmente, se deshidratan de nuevo los residuos y se lavan en el filtro-prensa con otros 3 l/kg. El producto final tiene un contenido en agua de alrededor del 50 %. El uso de CO₂ y H₃PO₄ como agentes estabilizadores asegura que los metales pesados sean ligados como carbonatos o fosfatos.

Este método muestra propiedades de lixiviación excelentes, similares a las de la estabilización Ferrox. La unidad de estabilización puede aplicarse como parte integrada del incinerador, pero también puede existir como planta de tratamiento centralizada que procese residuos procedentes de varios incineradores. El coste de tratamiento para la estabilización se estima en alrededor de 80 €/tonelada con una capacidad de la planta de 20 000 toneladas/año, incluyendo los costes de inversión.

7.1.6. Tecnologías emergentes para la extracción de vapores del suelo para la regeneración del suelo

Se han ensayado a escala piloto conceptos tales como las microondas, radiofrecuencia y calentamiento eléctrico, pero todavía no se dispone de resultados a escala plena.

7.1.7. Fitoextracción de metales del suelo

En el ámbito de la regeneración ambiental mediante procesos biológicos, la metodología conocida como fitoextracción ha recibido recientemente una atención creciente por parte de actores en este campo. La fitorregeneración abarca diversas tecnologías utilizadas para descontaminar tanto el suelo como el agua. Para suelos contaminados con metal, la fitoextracción representa una de las mejores soluciones desde el punto de vista ambiental.

7.1.8. Tratamiento de residuos contaminados con contaminantes orgánicos persistentes

Actualmente, estos tipos de residuos son tratados principalmente mediante incineración. Sin embargo, están emergiendo otros tipos de tecnologías, tal como se muestra en la tabla 7.1.

Tabla 7.1: Tratamiento de residuos contaminados con contaminantes orgánicos persistentes

Tecnología	Comentarios
Decloración catalizada por base	Se hacen reaccionar organoclorados con un polietilenglicol alcalino, formando un éter de glicol o un compuesto hidroxilado, los cuales requieren tratamiento ulterior, y una sal. Se han identificado dioxinas en residuos del proceso. La eficiencia de destrucción no es elevada.
Hidrogenación catalítica	Se hacen reaccionar organoclorados con hidrógeno en presencia de catalizadores de metales nobles, obteniéndose cloruro de hidrógeno e hidrocarburos ligeros.
Oxidación electroquímica	A baja temperatura y presión atmosférica, los oxidantes generados electroquímicamente reaccionan con organoclorados para formar dióxido de carbono, agua e iones inorgánicos con elevadas eficiencias de destrucción.
Oxidación por haz de electrones	
Oxidación electroquímica mediada por cerio	Esta tecnología utiliza células electroquímicas para la generación del oxidante cerio (IV) activo en el ánodo, un reactor de fase líquida para la destrucción orgánica primaria, un reactor de fase gaseosa para destruir cualquier emisión fugitiva del reactor líquido y un lavador de gas ácido para la eliminación de gases ácidos antes de la evacuación al aire.
Oxidación electroquímica mediada por plata	Este proceso utiliza plata (II) para oxidar flujos de residuos orgánicos. Las reacciones tienen lugar en una célula electroquímica similar al tipo utilizado en la industria del cloro-álcali.
Metal fundido	Se oxidan organoclorados y otros materiales en una cuba de metal fundido, obteniéndose hidrógeno, monóxido de carbono, escoria cerámica y subproductos metálicos.
Sales fundidas	Se oxidan organoclorados y otros materiales en una cuba de sal fundida, obteniéndose dióxido de carbono, agua, nitrógeno molecular, oxígeno molecular y sales neutras. Su eficiencia de destrucción podría ser elevada. Es apropiado para la destrucción de pesticidas, pero no para el tratamiento de suelos contaminados.
Fotocatálisis	Utiliza luz para activar un catalizador que oxida/reduce los compuestos. Permite destruir un amplio espectro de compuestos.
Oxidación ultravioleta	

7.1.9. Tecnologías emergentes para el tratamiento de aceite usado

Actualmente están en marcha en todo el mundo numerosas actividades para mejorar las tecnologías existentes de reciclaje del aceite usado y desarrollar nuevas tecnologías. Algunas tecnologías en desarrollo son:

- Proceso FILEA por C.E.A.: filtración supercrítica de CO₂.
- Extracción por disolventes MRD: extracción por disolventes de destilados al vacío de aceite usado producidos por TFE con un disolvente altamente eficiente y selectivo.

- Nueva tecnología Meinken: aplica un nuevo absorbente a destilados al vacío. El absorbente catalizador parece ser arcilla activada. Actualmente no se conoce ninguna aplicación industrial.
- Proceso ROBYS™: craqueo catalítico y estabilización para la producción de gasóleo.
- Tratamientos supercríticos: esto se aplica al desasfaltado, así como al fraccionamiento.

7.1.10. Regeneración de carbón activado

Las tecnologías de regeneración de carbón activado (regeneración biológica y regeneración oxidativa de carbón activado agotado) se hallan actualmente en la fase de investigación y desarrollo. Existen algunas tecnologías de control de la contaminación novedosas para la reducción de emisiones, pero se desconoce su estadio de desarrollo. Se trata de las siguientes: absorbedor de lecho fluidificado circulante, oxidación electrocatalítica de anhídrido sulfuroso, procesos electroquímicos, irradiación del gas de combustión e inyección de metanol.

7.1.11. Preparación de combustible sólido a partir de mezclas orgánico/agua

Este proceso consiste en la preparación de un combustible para su uso en hornos para cemento. El proceso es el mezclado de las mezclas orgánico/agua con una estructura porosa de hidrato de cal, a fin de capturar los materiales orgánicos y utilizar el producto como materia prima en la industria cementera. Esta tecnología es capaz de tratar residuos clínicos, residuos municipales, residuos peligrosos/químicos y residuos industriales y comerciales no peligrosos.

7.1.12. Tecnologías emergentes para la preparación de residuos peligrosos para la recuperación de energía

Nuevos adsorbentes para la preparación de combustible de residuos sólidos a partir de residuos peligrosos. Existe investigación permanente de otros adsorbentes para sustituir al serrín fresco.

7.1.13. Craqueo de materiales polímeros

Los combustibles líquidos o gaseosos, como los gasóleos o los fuel-oils pesados, también pueden ser sustituidos con un paso previo para craquear el polímero de desecho convirtiéndolo en un líquido o un gas. Los esfuerzos en este ámbito no han progresado en su mayoría más allá de ensayos a escala piloto.

7.2. INCINERACIÓN DE RESIDUOS

7.2.1. Utilización de vapor como agente pulverizador en quemadores de cámara de postcombustión en lugar de aire

No disponible.

7.2.2. Aplicación que implica el recalentamiento del vapor de la turbina

Otra opción para aumentar la eficiencia de la producción de electricidad es el recalentamiento del vapor de la turbina después de su primer paso por la turbina. Para esta aplicación, la temperatura del vapor se limita a 400 °C, pero la presión del vapor aumenta. Esta tecnología incrementa la eficiencia eléctrica en aproximadamente un 2-3 %. La aplicación podría verse influida por la viabilidad económica, la cual viene determinada principalmente por los costes de inversión adicionales y por los precios de la electricidad.

7.2.3. Otras medidas en el área del gas de combustión crudo para reducir las emisiones de dioxinas

Se puede lograr una reducción de las dioxinas adoptando las siguientes medidas en el área del gas de combustión crudo, las cuales pretenden reducir la formación de dioxinas mediante la inhibición de reacciones o la reducción de la presencia de polvo en la gama de temperaturas 450-200 °C:

- Adición de inhibidores al residuo - la eficiencia es limitada y las reacciones secundarias requieren consideración.
- Utilización de desempolvadores de gas caliente.
- Reducción de los depósitos de polvo en suspensión en el aire en la ruta del gas de combustión, mediante la limpieza eficaz de los conductos de evacuación de gas de combustión, calderas y placas de calefacción - una cuestión claramente relacionada con el mantenimiento.

7.2.4. Lavador de aceite para la reducción de compuestos aromáticos polihalogenados e hidrocarburos poliaromáticos (HPA) en los gases de combustión de la incineración

Las dioxinas y los furanos presentan una solubilidad en agua muy reducida, y en consecuencia no se eliminan en los lavadores húmedos de forma significativa y fiable. Cualquier eliminación que tenga lugar se debe generalmente a la eliminación del PCDD/F que es adsorbido por material particulado eliminado en el lavador húmedo. En el mejor de los casos, se produce cierta reducción por condensación de, principalmente, la especie de hexa a octa de mayor peso molecular desde la fase gaseosa al agua de lavado relativamente fría. Sin embargo, las dioxinas y los furanos son más lipofílicos. En consecuencia, las emulsiones de aceite o aceite-agua parcialmente insaturadas de elevado punto de ebullición de tal aceite proporcionan medios de lavado apropiados.

7.2.5. Utilización de CO₂ en gases de combustión para la producción de carbonato sódico

Si se pone el gas de combustión en contacto con solución de sosa cáustica, el dióxido de carbono reacciona con el hidróxido de sodio para formar carbonato sódico. El líquido es inodoro e incoloro. La solución de carbonato puede utilizarse como materia prima.

7.2.6. Temperatura de lecho aumentada, control de la combustión y adición de oxígeno en un incinerador de parrilla

El concepto básico de este proceso (conocido como el proceso SYNCOM) es la sinterización integrada de ceniza en el lecho de residuos de una energía basada en parrilla procedente del incinerador de residuos. Se utilizan temperaturas de lecho superiores para fundir o sinterizar el 50-80 % de la ceniza de fondo. La fracción no fundida evita que la rejilla se obstruya. Se produce un residuo completamente sinterizado, bien incinerado, de baja lixiviación.

Tabla 7.2: Comparación entre plantas de conversión de residuos a energía (WTE) convencionales y procesos SYNCOM

	Plantas de conversión de residuos a energía (WTE) convencionales	SYNCOM	SYNCOM plus
Pérdida por ignición	2 %	1 %	0,1 %
Lixiviación de plomo (mg/l)	0,2	0,05	0,01
Contenido en PCDD/F (ng TEQ/kg)	15	8	0,3

El sistema también reduce:

- las descargas totales de dioxina de la planta (< 5µg I-TEQ/t de los residuos introducidos);
- los volúmenes de ceniza volante;
- los volúmenes de gas de combustión en aprox. 35 %.

Esta técnica es aplicable a los incineradores de parrilla. Se da un incremento del 5-10 % de los costes de inversión globales de la planta. Reducciones en costes de eliminación para residuos, con posibilidad de ingresos por la venta de granulado como sustituto del agregado.

7.2.7. El proceso de combinación PECK para el tratamiento de RSM

Las principales características de este proceso son:

- Uso de una parrilla gasificadora subestequiométrica de primera fase a 950 °C.
- Reciclaje de la ceniza volante tratada a la parrilla.
- Seguido de un horno rotatorio a una temperatura del gas de 1400 °C con un factor de exceso de aire de 1,1 a 1,3 por encima de estequiométrico.
- La elevada temperatura en el horno rotatorio funde los materiales minerales.
- Enfriamiento de los residuos por agua para formar una fase vítrea.

Los beneficios ambientales clave sobre los procesos de incineración de RSM convencionales son:

- Producción de un residuo de ceniza de fondo de menor lixiviación semivitrificado.
- La vitrificación es un proceso interno - no se requiere energía externa.
- Reducción de los volúmenes de ceniza volante.
- Reducción de las emisiones totales de dioxina gracias a la destrucción en el incinerador.
- Concentración de metales pesados en un volumen más pequeño de residuos sólidos.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno al aire se reducen gracias al proceso de suministro progresivo del aire.

El proceso ha sido desarrollado para residuos sólidos municipales, pero en principio podría aplicarse a otros residuos. El proceso está equipado preferentemente con una unidad de purificación del gas de combustión en húmedo convencional. Para el tratamiento de la ceniza volante se necesita HCl, que puede recuperarse del agua de lavado.

7.2.8. Estabilización de residuos del TGC con FeSO₄

Esta estabilización implica un procedimiento en cinco pasos, en el que los residuos son mezclados en primer lugar con una solución de FeSO₄ y a continuación aireados con aire atmosférico a una proporción líquido/sólido de 3 l/kg a fin de oxidar el Fe(II) a Fe(III) y precipitar óxidos de hierro. Este paso también incluye la extracción de sales solubles. Se mantiene estable el pH de la suspensión a un pH de 10-11 para permitir que los metales pesados disueltos queden ligados a los óxidos de hierro precipitados. El cuarto paso del proceso es la deshidratación de los residuos tratados, y finalmente un paso de lavado para cambiar el agua remanente y eliminar las sales remanentes. El producto estabilizado final tiene un contenido en agua de alrededor del 50 %.

La principal ventaja reside en las propiedades de lixiviación mejoradas del producto final. El proceso reduce la cantidad de residuo en aproximadamente un 10 % del peso en seco.

La unidad de estabilización puede aplicarse como parte integrada del incinerador, pero también puede existir como planta de tratamiento centralizada que procese residuos procedentes de varios incineradores. La tecnología se ha demostrado en residuos de TGC semisecos, así como en ceniza

volante sola y en ceniza volante combinada con lodos procedentes de los lavadores húmedos, en todos los casos con buenos resultados.

El coste de tratamiento para un proceso de estabilización (estabilización Ferrox) se estima en alrededor de 65 EUR/tonelada con una capacidad de la planta de 20 000 toneladas/año, incluyendo los costes de inversión.

7.2.9. Estabilización de residuos de TGC con CO₂

Esta estabilización se asemeja en muchos aspectos al proceso de estabilización con FeSO₄, si bien los agentes químicos aquí utilizados son CO₂ o H₃PO₄.

La estabilización por CO₂ acredita unas propiedades de lixiviación excelentes, similares a la estabilización Ferrox. El proceso de estabilización por CO₂ reduce la cantidad de residuo en aproximadamente un 15 % del peso en seco.

La unidad de estabilización puede aplicarse como parte integrada del incinerador, pero también puede existir como planta de tratamiento centralizada que procese residuos procedentes de varios incineradores.

El coste de tratamiento para la estabilización por CO₂ utilizando este proceso se estima en alrededor de 80 €/tonelada de ceniza con una capacidad de la planta de 200 000 toneladas/año, incluyendo los costes de inversión.

7.2.10. Vista de conjunto de algunas otras tecnologías emergentes para el tratamiento de residuos del TGC

7.2.10.1. Tratamiento para el abastecimiento a la industria cementera

La utilización actual de residuos como combustible secundario en la industria cementera se ha tratado en profundidad en 5.2.1. Este sistema convierte la ceniza de fondo, la ceniza volante y los residuos de neutralización en un material que puede utilizarse en los hornos para cemento.

Otro proceso (aún en la fase de planta piloto) también aspira a suministrar materiales a la industria cementera. En este caso, se separan residuos procedentes de sistemas de TGC secos y semisecos basados en cal para obtener una fracción inerte (aprox. 70 % del peso) compuesta principalmente por óxidos para su uso en el horno para cemento, otra fracción (aprox. 25 % del peso) de cloruros de sodio y calcio, y la fracción restante que contiene los metales pesados.

7.2.10.2. Proceso de evaporación de metales pesados

Se calienta la ceniza volante a alrededor de 900 °C en una atmósfera enriquecida con ácido clorhídrico. Los metales pesados son volatilizados como cloruros y posteriormente condensados en un filtro, donde se concentran hasta tal punto que podría ser posible su reciclaje.

7.2.10.3. Tratamiento hidrometalúrgico con vitrificación

En este proceso, el tratamiento hidrometalúrgico permite la eliminación de los metales pesados y las sales. La vitrificación subsiguiente de la ceniza volante produce una escoria que podría utilizarse para la construcción. Se ha informado de que el proceso es aplicable a varias composiciones de ceniza y ha sido demostrado a escala semiindustrial. El proceso se aplica en un incinerador de RSM en Francia que quema 120 000 toneladas de RSM anuales y produce 3500 toneladas anuales de residuos de TGC tratados a partir de este proceso de tratamiento.

7.2.11. Sistemas de TGC secos combinados de bicarbonato sódico + RCS + lavador

Esta tecnología consiste en la combinación de TGC seco con bicarbonato sódico, un sistema RCS y un lavador.

Dado que el bicarbonato sódico presenta una gama de temperatura de trabajo amplia (140-300 °C) y conduce a emisiones de SO_x inferiores a 20 mg/Nm³, combina de forma ideal con una RCS sin necesidad de recalentar el gas de combustión, si bien es posible que sea preciso recalentar el gas de combustión si la temperatura de chimenea es demasiado baja después del lavador húmedo. Un lavador ubicado tras la RCS eliminará el HCl restante. Como la cantidad de HCl eliminada es muy pequeña, la purga puede ser reinyectada fácilmente en pasos anteriores del proceso, donde se vaporiza por completo. El resultado es un sistema de TGC sin pasos de calentamiento intermedios y sin efluentes líquidos.

El sistema combina dos tecnologías de TGC muy conocidas y posee las siguientes características:

- Las emisiones de SO₂ y HCl en la chimenea son bajas.
- El exceso de bicarbonato sódico es reducido debido al lavador subsiguiente; generalmente no es necesario recalentar el gas; no existen efluentes líquidos que tratar porque se reinyecta la purga en fases anteriores.
- Las emisiones son bajas, incluso con concentraciones de entrada fluctuantes.

La aplicabilidad de esta tecnología se evalúa en la tabla 7.3.

Tabla 7.3: Aplicabilidad de los sistemas de TGC secos combinados de bicarbonato sódico + RCS + lavador

Criterios	Evaluación/comentarios
Tipo de residuo	Puede aplicarse a cualquier tipo de residuo: especialmente indicado para composiciones de gas de entrada altamente variables (p. ej. residuos peligrosos).
Rango de tamaño de planta	No restringido, pero generalmente se aplica a plantas medianas/grandes.
Nuevo/existente	No restringido.
Compatibilidad entre procesos	En virtud de las elevadas temperaturas de servicio, el proceso es muy compatible con la RCS, dado que no es necesario el calentamiento del gas de combustión.
Factores de ubicación clave	Baja visibilidad de la pluma; no se produce efluente líquido; es posible reciclar el residuo y el reactivo es seguro.

Esta tecnología tiene unos costes de capital mayores que los sistemas secos, debido a la adición de un lavador. Si ya está instalado un lavador en buen estado, los costes de capital son similares. Sin embargo, sus costes de explotación son bajos.

7.2.12. Combinación de procesos térmicos

Este término se usa para designar procesos consistentes en una combinación de diversos procesos térmicos (pirólisis, incineración, gasificación).

7.2.12.1. Pirólisis- incineración

Las siguientes tecnologías se hallan en diversos estadios de desarrollo:

- Pirólisis en un horno de tipo tambor con subsiguiente incineración a alta temperatura del gas de pirólisis y del coque de pirólisis.
- Pirólisis en un horno de tipo tambor, seguida de condensación de los alquitranes y aceites gaseosos, subsiguiente incineración a alta temperatura del gas de pirólisis, el aceite de pirólisis y el coque de pirólisis.
- Pirólisis sobre una parrilla con incineración a alta temperatura directamente conectada.

Los residuos sólidos procedentes de estos procesos son granulares, lo cual puede ser ventajoso para su posterior reutilización o eliminación. Los lodos de aguas residuales (deshidratados o desecados) podrían ser cotratados con las fracciones de residuos municipales.

El proceso de productos limpios reciclados (PLR) es un desarrollo de la pirólisis sobre una parrilla con un proceso de incineración a alta temperatura directamente conectado. La ceniza de fondo fundida es vaciada de componentes metálicos y convertida en un aditivo para cemento en una fase de tratamiento secundario especial. En Alemania, el concepto de proceso PLR está siendo aplicado actualmente por primera vez a escala industrial.

Las técnicas de limpieza del gas de combustión aplicadas para los tres procesos de combinación de pirólisis anteriormente mencionados no difieren, en principio, de los sistemas utilizados en plantas de incineración de residuos municipales.

7.2.12.2. Pirólisis- gasificación

Cabe distinguir entre dos tipos distintos de procesos de pirólisis- gasificación:

Procesos desconectados (pirólisis con gasificación subsiguiente = proceso de conversión) y procesos directamente conectados.

1. Proceso de conversión:

En tales procesos, después del paso de pirólisis se pueden eliminar metales y, si fuera preciso, material inerte. Dado que el gas de pirólisis y el coque de pirólisis requieren recalentamiento en el proceso de gasificación, los requisitos técnicos y energéticos son más elevados que en los procesos conectados. El vapor de escape condensado es tratado como aguas residuales y descargado. Hasta la fecha, este proceso se utiliza exclusivamente para residuos municipales.

2. Proceso combinado de gasificación-pirólisis y fusión:

En tales procesos, los residuos no triturados son secados en un horno de empuje y parcialmente pirolizados. De este horno son transferidos directamente y sin interrupción a un gasificador de lecho fijo de pie. Aquí son gasificados (en la parte inferior) a temperaturas de hasta 2000 °C con la adición de oxígeno. También se añade oxígeno puro en la parte superior del reactor de gasificación para destruir los componentes orgánicos remanentes en el gas de síntesis generado, mediante oxidación, gasificación y reacciones de craqueado.

Si bien existen informes sobre su capacidad de tratar un espectro de residuos más amplio, este proceso se utiliza principalmente para residuos municipales y residuos industriales no peligrosos.

7.2.12.3. Gasificación-combustión

Los residuos de trituración, el plástico de desecho o los RSM triturados son gasificados en un lecho fluidizado de burbujeo circulante internamente, que trabaja a unos 580 °C.

A diferencia de otros procesos de gasificación, éste funciona a presión atmosférica y con aire en lugar de oxígeno. El pretratamiento de RSM mediante trituración es necesario para reducir el tamaño de partículas a un diámetro de 300 mm. Los residuos que ya cumplan esta especificación pueden ser tratados sin trituración. En las diversas plantas en funcionamiento, además de MSW se tratan otros residuos tales como lodos de aguas residuales, harina de huesos, residuos clínicos y escorias y lodos industriales.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La mayoría de las fuentes consultadas en relación a tecnologías y prácticas ambientales para el sector del tratamiento de residuos peligrosos se concentran en experiencias en la Unión Europea. Las tecnologías y prácticas consideradas en este documento han sido seleccionadas principalmente de actividades y procesos actualmente existentes en la Unión Europea.
- Si bien los términos «mejor tecnología disponible» y «mejor práctica ambiental» tiene definiciones distintas en el Anexo IV del Protocolo relativo a la protección del mar Mediterráneo contra la contaminación telúrica, en el contexto de la Unión Europea el término «mejor tecnología disponible» se considera lo suficientemente amplio como para abarcar el concepto de «mejor práctica ambiental».
- La viabilidad de aplicación de tales tecnologías y prácticas en el sector mediterráneo del tratamiento de residuos peligrosos ha sido evaluada en la medida de lo posible; sin embargo, se recomiendan encarecidamente estudios particulares centrados en cada instalación antes de la aplicación de cualquier tecnología específica, especialmente si va asociada a un coste de inversión elevado.
- Las tecnologías y prácticas relativas al diseño de la instalación y a la aplicación de tecnologías que afectan a procesos operativos son viables si la instalación se halla todavía en fase de proyecto. Los criterios aplicados para el diseño de un vertedero y el diseño de proceso de una planta de incineración son ejemplos representativos.
- No obstante, la mejora del sector mediterráneo del tratamiento de residuos peligrosos, y en particular de las instalaciones existentes, no implica necesariamente la inversión en nuevas tecnologías; es probable que una aplicación adecuada de instrumentos de gestión y buenas prácticas de administración en la instalación brinde beneficios ambientales significativos a un coste razonable en las fases iniciales.
- Se debería prestar especial atención a las tecnologías para la reducción de emisiones: tratamiento de aguas residuales, reducción de emisiones a la atmósfera y gestión de residuos con el objetivo de asegurar el cumplimiento de los requisitos legales (esto es, valores límite de emisión) establecidos por el país y de obtener la máxima reducción de emisiones. Los sistemas de monitorización y control soportan estos tipos de técnicas.
- Las técnicas que implican la mayor cantidad de requisitos tecnológicos son aquellas relacionadas con tratamientos térmicos de residuos peligrosos, en concreto la fase de tratamiento térmico, la fase de recuperación de energía y el tratamiento del gas de combustión. En consecuencia, son esenciales los estudios de viabilidad.
- Para facilitar el uso de residuos peligrosos en procesos industriales en instalaciones mediterráneas, se deben considerar dos cuestiones clave: los residuos deberían ser seleccionados con arreglo a sus valores caloríficos, y deberían aplicarse técnicas para la reducción de las emisiones a la atmósfera.
- Las MTD identificadas para vertidos son factibles y están enfáticamente recomendadas para las instalaciones mediterráneas. Conviene destacar que los vertidos incontrolados ejercen impactos ambientales críticos en la región mediterránea.

Las recomendaciones dirigidas a los responsables de la toma de decisiones durante la fase de proyecto de nuevas instalaciones de tratamiento de residuos peligrosos se basan en el conocimiento y el análisis de:

- las características y cantidades de los residuos peligrosos a tratar;

- la jerarquía de la gestión de residuos: reducir, reutilizar, reciclar, recuperación de energía y, como última alternativa, eliminación,
- el emplazamiento y su entorno;
- los rendimientos deseados de la actividad;
- los aspectos económicos;
- los requisitos legales en el país mediterráneo (p. ej. valores límite de emisión).

Las recomendaciones generales para las autoridades nacionales para promover la mejora del rendimiento ambiental del sector de tratamiento de residuos peligrosos han sido seleccionadas con los siguientes fines:

- Facilitar el conocimiento de alternativas viables a los procesos actuales y de los instrumentos que pueden utilizar las industrias para mejorar la eficiencia (p. ej. redes de información entre universidades e instituciones tecnológicas).
- Impulsar a las empresas de tratamiento de residuos a aumentar la pericia de gestión, incorporando el entorno como un aspecto clave.
- Introducir incentivos financieros específicos y de otros tipos para animar a las empresas a invertir o recibir capital externo para proyectos de protección ambiental.
- Promover la recuperación de material y energía antes del tratamiento final o la eliminación.
- Dado que las instalaciones públicas reciben generalmente asistencia internacional, deberían convertirse en referencias de MTD para otras instalaciones.
- Un calendario que permita a la instalación adaptarse a nuevas tecnologías o cesar la actividad en caso de que no exista ninguna alternativa viable.

Una vez que la instalación de tratamiento de residuos esté a punto de aplicar una determinada tecnología o práctica ambiental, debe tomar en consideración los siguientes pasos dirigidos a la prevención de la contaminación:

1. Medida

El primer paso (y básico) es medir no sólo el volumen y las características de los efluentes (aguas residuales, emisiones, residuos), sino también las condiciones de explotación normales, el equilibrio entre la energía de entrada, las materias primas (residuos de entrada) y otros materiales utilizados directa o indirectamente en el proceso, y el producto final (residuos de salida).

2. Identificación de fuentes de contaminación

Como consecuencia del proceso de medición, se identifican claramente los pasos relevantes de la actividad que genera la contaminación.

3. Identificación de alternativas potenciales

Mediante la identificación de las tecnologías apropiadas a partir de las presentadas en este informe.

4. Análisis de viabilidad técnica de las alternativas

Para ambas fases se deben tomar en consideración elementos distintos, dependiendo de cada caso concreto. Por ejemplo: disponibilidad de tecnologías, adaptabilidad a las condiciones locales, habilidades y capacidades técnicas de los empleados, adaptabilidad o limitación de residuos de entrada, requisitos analíticos, el uso racional de agua y energía, instalaciones en tierra, requisitos de eliminación de los residuos de salida, requisitos de calidad de los materiales recuperados, mantenimiento y reparación, etc.

5. Análisis de viabilidad económica de las alternativas

Los instrumentos financieros más habituales que pueden utilizarse para analizar cualquier inversión: flujo de caja diferencial, periodo de recuperación de la inversión (PRI), tasa interna de rentabilidad (TIR), valor actual neto (VAN).

El contexto debe ser un análisis de medio a largo plazo, tomando en consideración los incrementos previstos en el coste del tratamiento/depósito, la energía, el agua, cambios en los residuos de entrada o de salida, análisis, costes laborales, mantenimiento, incrementos/reducciones de la productividad, costes de inversión y de explotación, costes/beneficios intangibles, etc.

6. Aplicación

En esta fase, el papel de las autoridades ambientales se torna esencial para asegurar la adopción de tecnologías y prácticas ambientalmente compatibles, así como para disuadir a aquellos que no adopten una actitud dinámica y emprendedora. De nuevo, las instalaciones públicas deberían asumir un papel de referencia.

7. Comprobación de los resultados

Los resultados de la aplicación podrían ser identificados y evaluados mediante indicadores o esquemas de monitorización. En un procedimiento similar al de los programas de calidad, esos resultados se convierten en la fuente de la identificación de nuevos objetivos y proporciona nueva información para la evaluación comparativa. Además, esta información puede publicarse para que otras empresas puedan, a su vez, utilizarla como referencia.

9. ANEXO I - RELACIÓN DE MTD

9.1. MTD PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

MTD	PÁGINA
1.- Implantación y cumplimiento de un sistema de gestión ambiental (SGA).	28
2.- Asegurar la aportación de datos sobre las actividades llevadas a cabo en la planta.	28
3.- Procedimientos de buenas prácticas y programa de formación adecuado: a) Muestreo. b) Instalaciones receptoras. c) Técnicas de gestión. d) Empleo de personal cualificado. e) Procesos de manipulación asociados a la transferencia a/de bidones/recipientes. f) Técnicas para mejorar el mantenimiento de los productos almacenados.	28
4.- Estrecha relación con quien genera/almacena los residuos.	28
5.- Personal suficiente (disponible y en servicio) y convenientemente cualificado en todo momento. (Véase además la MTD n.º 3)	28
6.- Tener conocimientos reales de las características de los residuos: • Procesos de laboratorio. • Elección de aceites residuales para volver a refinar (rerefino). • Elección de la materia prima residual de los sistemas biológicos.	30
7.- Implantación de un procedimiento de admisión previa.	30
8.- Implantación de un procedimiento de admisión.	30
9.- Implantación de distintos procedimientos de muestreo. (Véase también la MTD n.º 3)	30
10.- Disponer de instalaciones de recepción. (Véase también la MTD n.º 3)	30
11.- Análisis de los residuos de salida en función de los parámetros relevantes para las instalaciones receptoras.	31

12.- Disponer de un sistema operativo que garantice la trazabilidad del tratamiento de residuos.	32
13.- Poner en marcha reglas de mezclado con el fin de limitar los tipos de residuos que pueden mezclarse entre sí y así evitar un incremento de las emisiones contaminantes en ulteriores tratamientos de residuos.	32
14.- Habilitar medidas de separación y compatibilidad. (Véanse además las MTD n.º 13 y 24).	32
15.- Mejora de la eficacia de los tratamientos de residuos en relación con la inutilidad del producto obtenido, el consumo de materias primas y el análisis del flujo de materiales.	32
16.- Redacción de un plan de gestión de accidentes estructurado. (Véase también el apartado 3.1.1 sobre gestión ambiental)	32
17.- Disponer y tener al día un diario de incidentes. (Véanse además las MTD n.º 1 y 16)	32
18.- Contar con un plan de gestión de los ruidos y las vibraciones integrado en el SGA. (Véase también la MTD n.º 1)	32
19.- Toma en consideración de posibles cierres definitivos futuros en la fase de diseño. (Véase también la MTD n.º 1)	32
20.- Disponer de información desglosada sobre el consumo y la generación de la energía (excepto la exportada) por origen (electricidad, gas, combustibles líquidos convencionales, combustibles sólidos convencionales y residuos). (Véase también la MTD n.º 1)	34
21.- Aumentar constantemente la eficiencia energética de las instalaciones mediante: <ul style="list-style-type: none"> • el desarrollo de un plan de eficiencia energética; • el empleo de técnicas que reduzcan el consumo de energía y, por tanto, las emisiones directas e indirectas; • la definición y el cálculo del consumo de energía específico de las actividades. (Véase también la MTD n.º 20)	34
22.- Realización de comparaciones internas (por ejemplo, de tipo anual) sobre el consumo de materias primas.	34
23.- Explorar los posibles usos de los residuos como materias primas para el tratamiento de otros residuos. Si los residuos se utilizan en el tratamiento de otros residuos, disponer de un sistema operativo que garantice la disponibilidad del suministro de residuos. (Véase también la MTD n.º 22)	34
24.- Adopción de técnicas relativas al almacenamiento: <ul style="list-style-type: none"> • Dotar a las zonas de un correcto sistema de drenaje y de todas las medidas necesarias en función de los riesgos (olores, emisiones volátiles, temperatura de inflamación baja). • Todas las conexiones entre recipientes deben poder cerrarse por medio de válvulas. 	37

25.- Las zonas de decantación de líquidos y de almacenamiento deben aislarse mediante muros de contención impermeables y que sean resistentes a los materiales que contienen.	37
26.- Adopción de técnicas relativas al etiquetado de depósitos y canalizaciones del proceso: <ul style="list-style-type: none"> • Etiquetar claramente todos los recipientes (contenido, capacidad). • Mantener un registro exhaustivo de todos los depósitos. 	37
27.- Adopción de medidas para evitar posibles problemas derivados del almacenamiento/acumulación de residuos. Puede entrar en conflicto con la MTD n.º 23 cuando los residuos se utilizan de reactivo.	37
28.- Adopción de técnicas relativas a la manipulación de residuos: <ul style="list-style-type: none"> • Implantación de sistemas y procedimientos, sistema de gestión de la carga y descarga de residuos, personal cualificado y comprobación de que ningún tubo, válvula o conexión dañados se utilicen. • Captura de gases de escape procedentes de recipientes y depósitos (residuos líquidos). • Descarga de sólidos y lodos en áreas cerradas dotadas de sistemas de extracción. 	37
29.- Garantizar que el amontonamiento/mezclado con residuos envasados sólo se produzca bajo la supervisión y las instrucciones necesarias y por parte de personal formado. Ciertos tipos de residuos obligan a recurrir al sistema de ventilación de escape de la planta.	38
30.- Garantizar que las incompatibilidades químicas guíen la separación necesaria durante el almacenamiento. (Véase también el apartado 3.1.4 sobre sistemas de gestión)	38
31.- Adopción de las siguientes técnicas al manipular residuos contenedorizados: <ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de los residuos contenedorizados bajo cubierta (en caso necesario: sensibilidad a la luz, el calor, la temperatura, el agua). • Asegurar la capacidad y el acceso de las zonas de almacenamiento de contenedores de sustancias que se sabe que son sensibles al calor, la luz y el agua, bajo cubierta y protegidos del calor y de la luz del sol directa. 	38
32.- Realizar los procesos de trituración y tamizado en áreas que dispongan de sistemas de extracción del aire enlazados a los equipos de reducción de las emisiones al manipular materiales que podrían generar emisiones atmosféricas (p. ej. olores, polvo, COV).	41
33.- Realizar los procesos de trituración en espacios completamente cerrados bajo una atmósfera inerte para los bidones/contenedores que contengan sustancias inflamables o muy volátiles. De este modo se impide su ignición. La atmósfera inerte deberá someterse a reducción de la contaminación. (Véase también la MTD n.º 32 y el apartado sobre tratamiento de las emisiones atmosféricas)	41
34.- Al realizar el proceso de lavado es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los componentes de lavado que podrían estar presentes en los elementos que deben someterse a lavado (p. ej. disolventes). • Transferir las aguas de lavado a la zona de almacenamiento adecuada. • Utilizar las aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento de residuos en vez de agua corriente. 	41

<p>35.- Limitar el uso de depósitos, recipientes y fosos abiertos del modo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impidiendo la salida o descarga directa a la atmósfera. • Manteniendo los residuos o materias primas bajo cubierto o en envases impermeables (véase también la información sobre almacenamiento y manipulación). • Conectando el espacio libre situado encima de los depósitos de asentamiento al sistema de escape general de las instalaciones y a unidades de lavado. 	82
<p>36.- Uso de un sistema de cerramiento dotado de extracción (también por presión negativa) conducida a una planta de tratamiento adecuada.</p> <p>Esta técnica resulta especialmente importante en procesos que impliquen el traspaso de líquidos volátiles, también durante la carga y descarga de cisternas.</p>	82
<p>37.- Implantar un sistema de extracción del tamaño apropiado que permita cubrir los depósitos de retención, zonas de pretratamiento, depósitos de almacenamiento, depósitos de mezclado/reacción y áreas de la prensa filtradora. Otra alternativa sería poner en marcha un sistema independiente para tratar los gases de escape de determinados contenedores.</p>	82
<p>38.- Correcto funcionamiento y mantenimiento del equipo de reducción de la contaminación, incluida la manipulación y el tratamiento/eliminación de materiales de desecho utilizados para el lavado de los lavadores.</p>	83
<p>39.- Disponer de un sistema de lavado para grandes descargas gaseosas inorgánicas generadas por las operaciones unitarias que producen emisiones puntuales en los procesos. Instalación de un lavador secundario en determinados sistemas de pretratamiento en caso de que la descarga sea incompatible o demasiado concentrada para el lavador principal. (Véase también la MTD n.º 38).</p>	83
<p>40.- Poner en marcha procedimientos de detección y reparación de fugas en instalaciones que cuenten con un gran número de elementos de canalización y almacenamiento, además de con componentes con tendencia a producir fugas y crear así problemas ambientales. Puede considerarse un elemento del SGA (véase también el capítulo sobre gestión ambiental).</p>	83
<p>41.- Reducción de emisiones atmosféricas hasta los siguientes niveles:</p> <p>NIVELES DE EMISIÓN (mg/Nm³):</p> <p>COV: 7-20 (para cargas de COV bajas; el límite superior puede aumentar hasta un valor de 50)</p> <p>MP: 5-20</p>	84
<p>42.- Reducción del uso de agua y de la contaminación del agua mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la impermeabilización de las instalaciones y la adopción de métodos de retención durante el almacenamiento; • la realización de inspecciones periódicas de los depósitos y fosos; • la separación de los flujos de aguas en función de su carga contaminante; • la implantación de depósitos de recogida de seguridad; • la realización de auditorías regulares del agua; • la separación del agua de procesos del agua pluvial. (Véase también la MTD n.º 46) 	86

43.- Implantar procesos que garanticen que las características de los efluentes son apropiadas para el sistema de tratamiento de efluentes de las instalaciones o su descarga.	86
44.- Evitar que los efluentes se desvíen de la planta de tratamiento.	86
45.- Implantar y utilizar un sistema de cerramiento que permita recoger las aguas pluviales que caen sobre las zonas de procesamiento junto con los líquidos de lavado de las cisternas para que se devuelvan a la planta de procesamiento o vayan a parar a un interceptor combinado.	87
46.- Separar los sistemas de recogida de aguas en función de si las aguas son potencialmente más o menos contaminadas.	87
47.- Construir una losa de hormigón que abarque la totalidad de la zona de tratamiento y evacue a los sistemas de drenaje internos para que conduzcan los líquidos a depósitos de almacenamiento o interceptores que recojan las aguas pluviales y cualquier posible derrame. Los interceptores que desaguan al alcantarillado normalmente requieren sistemas de seguimiento automáticos como, por ejemplo, medidores del pH que puedan interrumpir el proceso de desagüe. (Véase también la MTD n.º 63).	87
48.- Recoger las aguas pluviales en un depósito especial para su verificación, comprobación de posibles contaminaciones y usos futuros.	87
49.- Maximizar la reutilización de las aguas residuales tratadas y el uso de las aguas pluviales en las instalaciones.	87
50.- Realizar comprobaciones diarias del sistema de gestión de efluentes y mantener un registro de todas las inspecciones realizadas basado en un sistema de seguimiento de la calidad de los efluentes y lodos que se descarguen.	87
51.- En primer lugar, identificar las aguas residuales que puedan contener compuestos peligrosos . En segundo lugar, separar los flujos de agua residual de las instalaciones previamente identificados y, en tercer lugar, tratar de forma especial las aguas residuales, dentro y fuera de las instalaciones.	88
52.- En última instancia, tras la aplicación de la MTD n.º 42, se selecciona la técnica de tratamiento adecuada para cada tipo de aguas residuales.	88
53.- Implantar medidas que aumenten la fiabilidad de los controles y procesos de reducción de la contaminación necesarios (por ejemplo, optimizando la precipitación de los metales).	88
54.- Identificar los principales componentes químicos del efluente tratado (incluido el comportamiento de la DQO) y redactar una valoración informada del destino de estas sustancias químicas en el medio ambiente.	88
55.- Descargar únicamente las aguas residuales almacenadas cuando hayan concluido todas las medidas de tratamiento y la posterior inspección final.	88
56.- Lograr los siguientes valores de emisión hídrica antes de la descarga: VALOR DE LAS EMISIONES (ppm) <ul style="list-style-type: none"> • DQO: 20-120 • DBO: 2-20 	88

<ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn): 0,1-1 • Metales pesados altamente tóxicos: As: < 0,1; Hg: 0,01-0,05; Cd: < 0,1-0,2; Cr (IV): < 0,1-0,4 <p>(Véanse además las MTD n.º 42-55)</p>	
57.- Disponer de un plan de gestión de residuos integrado en el SGA que incluya técnicas de buenas prácticas ambientales y de referencia interna. Véanse además las MTD n.º 1 y 3.	90
58.- Maximizar el uso de envases reutilizables (bidones, contenedores, IBC, <i>pallets</i> , etc.).	90
59.- Reutilización de bidones si están en buenas condiciones para ello. De no ser así se envían a unas instalaciones que los traten apropiadamente.	90
60.- Mantener un inventario de seguimiento de los residuos internos donde se registren la cantidad de residuos recibidos en las instalaciones y los datos sobre los residuos procesados. Véase además la MTD n.º 27.	90
61.- Posible reutilización de los residuos generados en ciertos procedimientos/tratamientos como materia prima residual para otros. Véase además la MTD n.º 23.	90
62.- Habilitar y mantener en buen estado las superficies de las áreas operativas, con la aplicación, además, de medidas que eviten o contribuyan a limpiar rápidamente fugas y derrames; garantizar la realización del mantenimiento de los sistemas de drenaje y otras estructuras situadas bajo la superficie.	91
63.- Disponer de una losa impermeable y de un sistema de drenaje interno.	91
64.- Reducir las instalaciones y minimizar el uso de depósitos y canalizaciones subterráneos.	91
65.- Utilización de las siguientes técnicas en el almacenamiento y la manipulación de sistemas biológicos: <ul style="list-style-type: none"> • Para residuos con escaso nivel de olor: uso de puertas automatizadas y de accionamiento rápido con un dispositivo de captura de aire de escape apropiado. • Para residuos con un elevado nivel de olor: uso de tanques con sistema de alimentación cerrado construidos con una compuerta para vehículos. • Aislar y equipar la zona del tanque con un dispositivo de recogida del aire de escape. 	47
66.- Adaptar los tipos de residuos admisibles y los procesos de separación en función del tipo de proceso utilizado y la técnica de reducción aplicable (es decir, dependiendo del contenido de componentes no biodegradables).	47
67.- Utilización de las siguientes técnicas al emplear la digestión anaeróbica: <ul style="list-style-type: none"> • Integración precisa de la gestión de los procesos y el agua. • Reciclado de la máxima cantidad de aguas residuales para el reactor. • Utilización del sistema en condiciones de digestión termófilas. • Medición de los niveles de COT, DQO, N, P y Cl en los flujos de entrada y salida. • Maximización de la producción de biogás (requiere tener en cuenta el efecto sobre el digestato y la calidad del biogás). 	47

<p>68.- Reducir las emisiones de gases de escape de polvo, NO_x, SO_x, CO, H₂S y COV al utilizar biogás como combustible mediante la adecuada combinación de las siguientes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Depuración del biogás con sales de hierro. • Utilización de técnicas reductoras de NO_x (RCS). • Utilización de una unidad de de oxidación térmica. • Utilización de un sistema de filtración mediante carbón activado. 	48
<p>69.- Mejorar el tratamiento mecánico-biológico (TMB) mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el uso de biorreactores completamente cerrados; • evitar las condiciones anaeróbicas durante el tratamiento aeróbico por medio del control de la digestión, el suministro de aire y la adaptación a la actividad biodegradativa; • uso eficiente del agua; • aislar térmicamente el techo de la sala de degradación biológica durante los procesos aeróbicos; • minimizar la producción de gases de escape a niveles de 2 500 a 8 000 Nm³/t; • garantizar el suministro uniforme; • reciclado de las aguas de proceso o residuos fangosos mediante tratamiento aeróbico para evitar cualquier emisión hídrica. Si se generan aguas residuales, éstas deberían tratarse hasta que alcancen los valores mencionados en la MTD n.º 56; • reducir las emisiones de compuestos de nitrógeno optimizando la relación C:N. 	48
<p>70.- Reducción de las emisiones generadas en los tratamientos mecánico-biológicos a los siguientes niveles:</p> <p style="padding-left: 40px;">Olores: < 500 - 600 ouE/m³ y NH₃: < 1 - 20 mg/Nm³.</p> <p>Mediante la adopción de las siguientes técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buena gestión ambiental. • Oxidantes térmicos regenerativos. • Extracción del polvo. <p>En cuanto a los COV y la MP, véase la MTD n.º 41.</p>	49
<p>71.- Reducción de la contaminación en las emisiones hídricas a los siguientes niveles (ppm):</p> <p style="padding-left: 40px;">DQO: 20 - 120</p> <p style="padding-left: 40px;">DBO: 2 - 20</p> <p style="padding-left: 40px;">Metales pesados (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn): 0,1 - 1</p> <p style="padding-left: 40px;">Metales de alta toxicidad:</p> <p style="padding-left: 40px;">As: < 0,1; Hg: 0,01 - 0,05; Cd: < 0,1 - 0,2; Cr (IV): < 0,1 - 0,4</p> <p>Además de limitar las emisiones de nitrógeno total, amoniaco, nitratos y nitritos.</p>	49
<p>72.- Utilización de las siguientes técnicas en los reactores fisicoquímicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir claramente los objetivos y la reacción química esperada en cada proceso de tratamiento. • Evaluar cada conjunto nuevo de reacciones y mezclas de residuos propuestos y reactivos mediante un ensayo de laboratorio, como paso previo al tratamiento. • Diseño y utilización específicos de la vasija del reactor. 	53

<ul style="list-style-type: none"> • Cierre de todos los depósitos de tratamiento/reacción, garantizando que todos ellos tengan salida a la atmósfera vía lavador. • Control de la reacción para asegurar que se desarrolla según lo previsto y avanza hacia los resultados esperados. • Evitar la mezcla con residuos u otros flujos que contengan metales y agentes complejantes simultáneamente. 	
73.- Deben identificarse algunos parámetros adicionales para el tratamiento fisicoquímico de aguas residuales (además de los parámetros generales señalados para las aguas residuales en la MTD n.º 56).	53
74.- Adopción de las siguientes técnicas en el proceso de neutralización: <ul style="list-style-type: none"> • Garantizar el empleo de los métodos de medida habituales. • Almacenar las aguas residuales neutralizadas por separado. • Realizar una inspección final de las aguas residuales neutralizadas. 	53
75.- Adopción de las siguientes técnicas para favorecer la precipitación de los metales: <ul style="list-style-type: none"> • Ajustar el pH al punto de mínima solubilidad (los metales se precipitarán). • Evitar la entrada de agentes complejantes, cromatos o cianuros. • Evitar los materiales orgánicos (interfieren con la precipitación del proceso). • Permitir que los residuos tratados resultantes se clarifiquen por decantación. • Iniciar la precipitación del sulfuro en presencia de agentes complejantes. 	53
76.- Adopción de las siguientes técnicas para descomponer las emulsiones: <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la presencia de cianuros en las emulsiones que se someterán a tratamiento. Si los hay, las emulsiones deberán someterse a un pretratamiento especial. • Establecimiento de pruebas de laboratorio simuladas. 	54
77.- Aplicación de las siguientes técnicas a la oxidación/reducción: <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la contaminación de las emisiones atmosféricas generadas. • Puesta en marcha de medidas de seguridad y detectores de gas. 	54
78.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan cianuros: <ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de los cianuros por oxidación. • Adición de sosa cáustica por encima de los niveles normales para evitar un descenso del pH. • Evitar la mezcla de residuos de cianuro con compuestos ácidos. • Seguimiento del desarrollo de la reacción a través de electropotenciales. 	55
79.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan compuestos de cromo (VI): <ul style="list-style-type: none"> • Evitar mezclar residuos de Cr(VI) con residuos de otro tipo. • Reducir el Cr(VI) a Cr(III). • Precipitar el metal trivalente. 	55
80.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan nitritos: <ul style="list-style-type: none"> • Evitar mezclar residuos de nitrito con otros residuos. • Comprobar y evitar que se formen humos nitrosos durante el tratamiento de oxidación/acidificación de los nitritos. 	55

<p>81.- Aplicación de las siguientes técnicas a las aguas residuales que contengan amoníaco:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilización de un sistema de extracción de volátiles (stripper) de doble columna con lavador de acidez para residuos con un contenido de amoníaco superior al 20 %. • Recuperar el amoníaco de los lavadores y devolverlo al proceso antes de la fase de asentamiento. • Extraer el amoníaco retirado en la fase de gas mediante lavado con ácido sulfúrico para obtener sulfato de amonio. • Ampliar los posibles muestreos de amoníaco en las chimeneas de escape o la zona de la prensa filtradora de modo que incluyan los COV del material filtrado y deshidratado. 	55
<p>82.- Enlazar el aire de cabeza de los procesos de filtración y deshidratación con el sistema de reducción de emisiones principal de la planta.</p>	56
<p>83.- Adición de agentes floculantes a los lodos y aguas residuales que van a tratarse para acelerar el proceso de sedimentación y facilitar la posterior separación de los sólidos.</p> <p>Para evitar el uso de agentes floculantes es preferible la evaporación cuando ésta sea económicamente viable.</p>	56
<p>84.- Utilizar un sistema de lavado rápido y vapor o de chorro de agua a alta presión para limpiar las aberturas del filtro utilizado en los procesos de tamizado.</p>	56
<p>85.- Fomentar la insolubilización de metales anfotéricos y reducir la lixiviación de sales solubles tóxicas mediante una combinación de:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) lavado mediante agua. b) evaporación y recristalización. c) extracción por ácido. <p>cuando se recurre a la inmovilización para tratar los residuos sólidos que contengan compuestos peligrosos destinados a vertederos.</p>	60
<p>86.- Comprobación de la lixiviabilidad de los compuestos inorgánicos mediante los procedimientos estandarizados del CEN y la utilización de niveles de ensayo adecuados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización básica. • Ensayo de aceptación. • Verificación <i>in situ</i>. 	60
<p>87.- Limitar la admisión de residuos para su tratamiento mediante solidificación/inmovilización a materiales que no contengan elevados niveles de COV, componentes odoríferos, cianuros sólidos, agentes oxidantes, agentes quelatantes, residuos con COT elevado y cilindros de gas a presión.</p>	60
<p>88.- Adopción de técnicas de control y cerramiento para la carga y descarga y los sistemas transportadores.</p>	61
<p>89.- Habilitar un sistema (o sistemas) de reducción de las emisiones para los flujos de aire, así como para los picos asociados a las operaciones de carga y descarga.</p>	61
<p>90.- Empleo de al menos los siguientes procedimientos de estabilización:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Solidificación. 	61

<p>b) Vitrificación y fusión.</p> <p>c) Uso de otros reactivos.</p> <p>Es necesario un proceso de estabilización con fosfato antes de transportar cualquier residuo sólido al vertedero.</p>	
91.- Control de la velocidad de excavación, del área de suelo contaminada expuesta y de la duración de los montones apilados que se dejan descubiertos durante la excavación y extracción de suelo contaminado.	62
92.- Empleo de análisis de laboratorio en matraz volumétrico para determinar la adecuación del proceso que se va a adoptar y las mejores condiciones operativas de éste.	62
93.- Habilitar equipos de recogida y control como, por ejemplo, posquemadores, oxidantes térmicos, filtros de tejido, carbón activado o condensadores para el tratamiento de gases generados por tratamientos térmicos.	62
94.- Informar sobre la eficacia de los procesos aplicados a los distintos componentes reducidos y también sobre aquellos que no se han visto afectados por el proceso.	62
95.- Control riguroso de los materiales de entrada complementado con equipos analíticos (viscosímetros, infrarrojos, cromatografía y espectrometría de masas, según sea necesario), laboratorios y recursos.	66
96.- Comprobación de, al menos, los disolventes clorados y PCB.	66
97.- Utilizar la condensación como tratamiento para la fase gaseosa de la unidad de destilación en corriente de vapor.	66
98.- Habilitación de líneas de retorno del vapor para la carga y descarga de vehículos; conducción de todas las salidas de ventilación hacia: <ul style="list-style-type: none"> a) una unidad de oxidación térmica/incinerador o bien b) un equipo de adsorción por carbón activado. 	66
99.- Conducir los flujos de ventilación a un equipo de oxidación térmica con tratamiento de gases residuales en caso de que haya compuestos clorados presentes en el flujo. Si el flujo contiene niveles elevados de compuestos clorados, el proceso de tratamiento preferible será el siguiente: <ul style="list-style-type: none"> a) condensación seguida de b) lavado cáustico y c) lecho de seguridad de carbón activado. 	67
100.- Utilización de la oxidación térmica a 850 °C con dos segundos de tiempo de residencia para la abertura de destilación al vacío de los generadores de vacío o el aire procedente de los calentadores del proceso.	67
101.- Uso de un sistema de vacío de alta eficacia.	67
102.- Empleo de los residuos de destilación al vacío o evaporadores de película fina como productos asfálticos.	67

103.- Recurrir a un proceso de rerefino de aceites residuales que proporcione un rendimiento del 65 % (en seco).	67
104.- Lograr los siguientes valores en las aguas residuales salientes de la unidad de rerefino: Hidrocarburos: < 0,01-5 ppm; fenoles: 0,15-0,45 ppm mediante una combinación de técnicas integradas en los procesos y/o tratamientos primarios, secundarios, biológicos o de acabado.	68
105.- Llevar a cabo un control exhaustivo de los materiales de entrada con ayuda de equipo analítico, laboratorios y recursos.	70
106.- Evaporar el residuo de las columnas de destilación y recuperar los disolventes.	70
107.- Uso de filtros de mangas para reducir las partículas de los humos generados durante el proceso de regeneración.	71
108.- Uso de un sistema de reducción de SO _x .	71
109.- Implantar un procedimiento de control de la calidad efectivo que garantice que el operador pueda distinguir entre el carbón utilizado con el agua potable o de uso alimentario de otros carbones agotados (los llamados «carbones industriales»).	73
110.- Solicitar un compromiso por escrito a los clientes donde se indique a qué uso se destinó el carbón activado.	73
111.- Utilización de un horno de calentamiento indirecto para los carbones industriales, aunque podría argumentarse que este proceso es también válido para los carbones usados con aguas potables. Con todo, los límites de capacidad o de corrosión podrían obligar a utilizar únicamente hornos de solera múltiple u hornos rotatorios de calentamiento directo.	73
112.- Uso de un posquemador con una temperatura mínima de 1 100 °C, dos segundos de tiempo de residencia y un 6 % de exceso de oxígeno para la regeneración de carbones industriales que posiblemente contengan sustancias refractarias halogenadas o de otro tipo resistentes a las altas temperaturas.	73
113.- Uso de un posquemador con una temperatura mínima de calentamiento de 850 °C, dos segundos de tiempo de residencia y un 6 % de exceso de oxígeno para la regeneración de carbones activados usados con agua potable o alimentos.	73
114.- Habilitar un tren de tratamiento que conste de fase de extinción o lavado Ventura o acuoso seguido de un ventilador de tiro inducido.	74
115.- Utilización de una solución de lavado cáustica o de ceniza de sosa para neutralizar los gases ácidos de las plantas de carbón industrial.	74
116.- Habilitar una planta de tratamiento de aguas residuales combinada que integre la floculación, asentamiento, filtración y ajuste del pH para el tratamiento de carbones utilizados con agua potable. En cuanto a los efluentes de los carbones industriales, la utilización de tratamientos adicionales (hidróxido metálico, precipitación por sulfuro) también se considera MTD.	74
117.- Intentar entablar una relación estrecha con el destinatario del combustible obtenido de los residuos con el fin de que se produzca una adecuada transferencia de los conocimientos sobre la composición del combustible residual.	77

118.- Habilitar un sistema de control de calidad que garantice las características del combustible residual final producido.	77
119.- Preparar los distintos tipos de combustibles residuales en función de su destino (p. ej., hornos de cemento), el tipo de horno (p. ej., combustión en parrilla, alimentación por soplado) y el tipo de residuos empleados para fabricar el combustible residual (p. ej., residuos peligrosos).	77
120.- Al producir combustibles residuales a partir de residuos peligrosos, utilizar carbón activado para las aguas menos contaminadas y tratamiento térmico para las muy contaminadas. Los tratamientos térmicos remiten a cualquier tipo de tratamiento térmico o a la incineración. Véanse las MTD sobre incineración de residuos peligrosos (capítulo 4).	77
121.- Al producir combustibles residuales a partir de residuos peligrosos, garantizar el correcto seguimiento de las normas relativas a los riesgos electrostáticos y de inflamación por motivos de seguridad. Uso de las siguientes técnicas: a) Disponer de todos los detalles de los procedimientos que se van a realizar. b) Implantar técnicas para evitar accidentes y sus consecuencias.	77
122.- Tener presentes las emisiones y los riesgos de inflamación en caso de requerir un procedimiento de secado o calentamiento.	78
123.- Considerar la posibilidad de realizar las operaciones de mezclado en zonas cerradas dotadas de sistemas de control de aire adecuados.	78
124.- Uso de filtros de mangas para la reducción de la contaminación particulada.	78
125.- Uso de unidades intercambiadoras de calor externas al depósito en caso de que sea necesario calentar el combustible líquido.	79
126.- Adaptación del contenido de sólidos suspendidos para garantizar la homogeneidad del combustible líquido.	79

9.2. MTD PARA LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

MTD	PÁGINA
1.- Selección de un diseño de instalación adecuado a las características de los residuos que se reciben, mediante las técnicas siguientes: a) Adecuación del diseño del proceso. b) Características de las cámaras de combustión.	94
2.- Mantenimiento del emplazamiento en un estado ordenado y limpio.	94
3.- Mantenimiento de todo el equipo en buenas condiciones y realización de inspecciones de mantenimiento y mantenimiento preventivo para lograr la MTD n.º 2.	94

4.- Creación y mantenimiento de controles de calidad en la entrada de residuos, según los tipos de residuos que pueda recibir la instalación, mediante las técnicas siguientes:	94
<ul style="list-style-type: none"> a) Establecimiento de límites de entrada en la instalación e identificación de riesgos clave. b) Comunicación con los proveedores de residuos para mejorar el control de calidad de los residuos entrantes. c) Control de la calidad de la alimentación de los residuos en el incinerador. d) Comprobación, muestreo y análisis de los residuos entrantes. e) Detectores de materiales radiactivos. 	
5.- Almacenaje de residuos a partir de una valoración de riesgos de sus propiedades, de forma que se minimice el riesgo de emisiones potencialmente contaminantes.	95
6.- Uso de técnicas y procedimientos para restringir y gestionar los tiempos de almacenaje de residuos, para reducir de forma general el riesgo de emisiones causadas por el almacenaje de residuos y el deterioro de los contenedores, así como para reducir las dificultades de procesamiento que pudieran surgir.	95
7.- Minimización de la liberación de olores (y otras emisiones fugitivas potenciales) de las áreas de almacenaje de residuos a granel y de las áreas de pretratamiento llevando los gases extraídos al incinerador para su combustión.	96
8.- Separación del almacenaje de residuos en función de una valoración de riesgos de sus características fisicoquímicas que permita un almacenaje y procesamiento seguros.	96
9.- Etiquetado claro de los residuos almacenados en contenedores, de forma que puedan identificarse en todo momento. Es aplicable a los residuos peligrosos.	96
10.- Desarrollo de un plan de prevención, detección y control del peligro de incendio en la instalación, especialmente para:	96
<ul style="list-style-type: none"> • áreas de almacenaje de residuos y de pretratamiento; • áreas de carga de los hornos; • sistemas de control eléctrico; • filtros de mangas y de lecho estático. 	
11.- Mezcla o pretratamiento adicional de residuos heterogéneos en la cantidad necesaria para cumplir con las especificaciones de diseño de la instalación receptora.	96
12.- Uso de:	97
<ul style="list-style-type: none"> a) la eliminación por precombustión de metales reciclables, o b) la separación de las cenizas de horno metálicas. <p>La eliminación de metales reciclables férricos y no férricos se realiza: tras la incineración, a partir de los residuos de cenizas de horno, o donde se trituran los residuos, a partir de los ya triturados y antes de la etapa de incineración.</p>	
13.- Disponer de operadores con la capacidad de controlar visualmente (directamente o con pantallas de televisión o medios similares) las áreas de almacenaje y carga de residuos.	97
14.- Minimización de la entrada no controlada de aire en la cámara de combustión durante la carga de residuos o por otras vías.	97

<p>15.- Uso de modelos de flujo que puedan contribuir a proporcionar información cuando exista preocupación sobre el rendimiento de la combustión o del TGC, así como sobre la optimización de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la geometría del horno y la caldera; • la inyección de aire de combustión; • los puntos de inyección de reactivos cuando se usen RCS o RNCS. 	109
<p>16.- Adopción de programas operativos y aplicación de procedimientos para reducir las emisiones globales.</p>	109
<p>17.- Identificación de un método de control de la combustión y uso de criterios clave de combustión y de un sistema de control para vigilar y mantener estos criterios dentro de los límites adecuados, con el objetivo de mantener la efectividad del rendimiento de combustión. Las técnicas que deben tenerse en cuenta son:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Selección y uso de sistemas de control y parámetros adecuados. b) Uso de cámaras infrarrojas para la vigilancia y el control de la combustión. 	109
<p>18.- Optimización y control de las condiciones de la combustión mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el control del suministro, distribución y temperatura del aire, incluida la mezcla de de gas y oxidante; • la temperatura y distribución de la combustión; • el tiempo de residencia del gas sin tratar. <p>Las técnicas que pueden usarse son:</p> <ol style="list-style-type: none"> c) Optimización de la estequiometría del suministro de aire. d) Optimización y distribución del suministro de aire primario. e) Inyección, optimización y distribución del aire secundario. f) Optimización del tiempo, temperatura y turbulencia de los gases en la zona de combustión, así como de las concentraciones de oxígeno. g) Diseño que aumente la turbulencia en la cámara de combustión secundaria (CCS). 	110
<p>19.- En general, es MTD utilizar las condiciones operativas (temperaturas, tiempos de residencia y turbulencia) especificadas en el artículo 6 de la Directiva 2000/76/CE. El uso de otras condiciones operativas también puede ser MTD.</p>	110
<p>21.- Uso de quemadores auxiliares para el arranque y la parada, así como para mantener las temperaturas de combustión necesarias en todo momento cuando hay residuos sin quemar en la cámara de combustión.</p>	110
<p>22.- Uso de una combinación de aislamiento y extracción de calor cerca del horno que, según el valor calorífico neto (VCN) y la corrosividad de los residuos incinerados, ofrezca una correcta retención de calor en el horno y permita transferir calor adicional para la recuperación energética.</p> <p>Las técnicas que se pueden usar son:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Protección de las paredes de membrana del horno y el primer paso de la caldera con materiales refractarios o de otro tipo. b) Uso de un horno-caldera integrado. 	111

23.- Uso de hornos cuyas dimensiones sean lo bastante grandes para ofrecer una combinación efectiva de tiempo de residencia del gas y temperatura, de forma que las reacciones de combustión sean casi completas y den como resultado unas emisiones de CO y COV bajas y estables.	111
24.- Cuando se usa gasificación o pirólisis, para evitar la generación de residuos, se considera una MTD combinar la etapa de gasificación o de pirólisis con una etapa subsiguiente de combustión, con recuperación energética y tratamiento de los gases de combustión que mantenga los valores de emisión a la atmósfera operativos; o bien, recuperar o suministrar para su uso las sustancias no combustionadas.	111
25.- Uso de un diseño de caldera que permita reducir suficientemente la temperatura del gas antes de los serpentines de intercambio de calor por convección para evitar problemas operativos causados por las altas temperaturas o la adhesión de cenizas volantes. Las técnicas que pueden usarse son: a) Optimización de la arquitectura de la caldera. b) Uso de un sobrecalentador de tipo «platina».	112
26.- Optimización global de la eficiencia energética de la instalación y de la recuperación de energía, principalmente a través de: <ul style="list-style-type: none"> • reducción de las pérdidas energéticas con los gases de combustión; • uso de una caldera para transferir energía para la producción de electricidad o el suministro de vapor o calor con una eficiencia de conversión térmica para residuos peligrosos que conlleven un aumento en los riesgos de corrosión (habitualmente a causa del contenido en cloro y azufre) superior al 60-70 %; • para los procesos de gasificación y pirólisis, uso de una caldera con una eficiencia de conversión térmica de un 80 % como mínimo o uso de un motor de gas u otra tecnología de generación de electricidad. 	123
27.- Garantizar, si es posible, contratos a largo plazo de suministro de vapor o calor de carga básica con grandes usuarios de vapor y calor, de forma que exista una demanda más regular de la energía recuperada y, por tanto, se pueda usar una mayor proporción del valor energético de los residuos incinerados.	123
28.- Ubicación de nuevas instalaciones de forma que pueda maximizarse el uso del calor o el vapor generados en la caldera mediante cualquier combinación de: <ul style="list-style-type: none"> • generación de electricidad con suministro de vapor o calor para su uso; • suministro de calor o vapor para su uso en sistemas de calefacción centralizados; • suministro de vapor de procesamiento para diversos usos, especialmente industriales; • suministro de calor o vapor para su uso como energía motriz de sistemas de refrigeración o aire acondicionado. 	123
29.- En los casos en los que se genera electricidad, optimización de los parámetros del vapor, considerando el uso de valores superiores para aumentar la generación de electricidad y la protección de los materiales de la caldera mediante materiales resistentes adecuados.	124
30.- Selección de una turbina adecuada para: <ul style="list-style-type: none"> • el programa de suministro de electricidad y calor; • una alta eficiencia eléctrica. 	124

31.- Minimización de la presión del condensador en instalaciones nuevas o en proceso de actualización en las que la generación de electricidad tiene preferencia sobre el suministro de calor.	124
32.- Minimización general de la demanda energética de toda la instalación, lo que incluye: <ul style="list-style-type: none"> • para el nivel de rendimiento exigido, selección de técnicas con la menor demanda energética global; • ordenación de los sistemas de tratamiento de gases de combustión de forma que se evite el recalentamiento de tales gases; • uso de intercambiadores de calor para calentar los gases de combustión de entrada de la RCS con la energía de los gases de combustión en la salida de la RCS; • uso de sistemas de intercambio de calor para minimizar la demanda energética para el recalentamiento de los gases de combustión; • evitar el uso de combustibles primarios mediante la energía autogenerada. 	124
33.- Allí donde se necesiten sistemas de refrigeración, selección de los sistemas por condensación de vapor que se adapten mejor a las condiciones ambientales locales.	125
34.- Uso de una combinación de técnicas de limpieza de la caldera en línea y fuera de línea para reducir el tiempo de residencia del polvo y su acumulación en la caldera.	125
35.- Uso de un sistema global de tratamiento de los gases de combustión (TGC) que, en general, al combinarlo con el conjunto de la instalación, proporcione los niveles operativos de emisión que aparecen en la tabla 5.2 (BREF de incineración de residuos [3]) para emisiones a la atmósfera asociadas al uso de las MTD.	138
36.- Tener en cuenta, al seleccionar el sistema global de TGC, los factores generales, los impactos potenciales sobre el consumo de energía de la instalación y las cuestiones adicionales sobre la compatibilidad global del sistema que puedan surgir cuando se modernizan las instalaciones existentes.	138
37.- Al elegir entre un sistema de TGC húmedo, semihúmedo o seco, tener en cuenta los criterios generales de selección tal como se muestran a modo de ejemplo en la tabla 5.3 (BREF de incineración de residuos [3]).	125
38.- Para prevenir el aumento asociado en el consumo eléctrico, evitar de forma general –es decir, a no ser que existan condiciones locales que obliguen a ello– el uso de dos filtros de mangas en una línea de TGC. Las técnicas que pueden usarse son: <ol style="list-style-type: none"> a) Aplicación de un sistema adicional de refinamiento de los gases de combustión. b) Uso de filtrado de doble manga. 	125
40.- Utilización de medidas primarias de reducción de los NO _x para disminuir su producción, junto con una RCS o RNCS, según la eficacia requerida para la reducción de los gases de combustión.	138
41.- Para la reducción de las emisiones globales de PCDD/F en todos los medios se usan: <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas para mejorar el conocimiento de los residuos y su control. • Técnicas primarias para destruir los PCDD/F de los residuos y sus posibles precursores. • Diseños de la instalación y controles operativos que eviten que se den las condiciones que podrían provocar la reformación o generación de PCDD/F. 	138

<p>Las técnicas que pueden usarse son:</p> <ol style="list-style-type: none"> Técnicas primarias para la prevención de PCDD/F. Prevención de la reformación de PCDD/F en el sistema de TGC. Adsorción de los PCDD/F mediante inyección de carbón activado u otros reactivos. Adsorción de los PCDD/F en lechos estáticos. Destrucción de los PCDD/F mediante reducción catalítica selectiva (RCS). Destrucción de los PCDD/F usando bolsas filtrantes catalíticas. 	
42.- Cuando se use un lavador húmedo, efectuar una evaluación de la acumulación de PCDD/F en el lavador y adoptar las medidas adecuadas para hacer frente a dicha acumulación y prevenir escapes a través del lavador.	139
43.- Si se aplica un nuevo quemado de los residuos de TGC, se tienen que tomar medidas adecuadas para evitar la recirculación y la acumulación de mercurio en la instalación.	160
<p>44.- Para el control de las emisiones de Hg, cuando los lavadores constituyan el único o el principal medio efectivo para el control de las emisiones totales de Hg:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de una primera etapa de pH ácido con la adición de reactivos específicos para la eliminación del Hg iónico. • Inyección de carbón activado. • Filtros de carbón activado o coque. <p>Las técnicas que se pueden usar son:</p> <ol style="list-style-type: none"> Lavado húmedo de pH ácido e incorporación de aditivos. Adición de peróxido de hidrógeno en los lavadores húmedos. Inyección de dióxido de cloro para el control del Hg elemental. Inyección de carbón activado para adsorber el Hg. Uso de filtros estáticos de carbón activado o coque. 	140
45.- Para el control de las emisiones de Hg cuando se utilizan sistemas TGC semihúmedos y secos, usar carbón activado u otros reactivos adsorbentes eficaces para la adsorción de PCDD/F y Hg, controlando la dosis del reactivo por unidad de tiempo, de manera que las emisiones finales a la atmósfera estén dentro de los rangos de emisión de las MTD establecidos para el Hg.	140
<p>46. Optimización general de la recirculación y la reutilización dentro de la instalación de las aguas residuales producidas <i>in situ</i>.</p> <p>Las técnicas utilizadas son:</p> <ol style="list-style-type: none"> Recirculación de los efluentes en el proceso en el lugar de su vertido. Uso del agua de drenaje de la caldera para el suministro de los lavadores. 	156
47.- Uso de sistemas separados para el drenaje, el tratamiento y el vertido del agua de lluvia que cae en el emplazamiento –también el agua del tejado– de manera que no se mezcle con corrientes de aguas residuales potencial o realmente contaminadas. Algunas de esas corrientes pueden necesitar poco o ningún tratamiento antes de su vertido, dependiendo del riesgo de contaminación y de los factores de vertido locales.	156

<p>48.- Cuando se usa un tratamiento húmedo de gases de combustión:</p> <ol style="list-style-type: none"> Utilizar un tratamiento fisicoquímico <i>in situ</i> del efluente del lavador antes de su vertido. Tratar por separado las corrientes de aguas residuales ácidas y alcalinas provenientes de las etapas de lavado cuando existan condicionantes especiales para la reducción adicional de las emisiones al agua o se deba realizar el reciclado del HCl o del yeso. Hacer recircular el efluente del lavador húmedo dentro del sistema de lavado y utilizar la conductividad eléctrica del agua recirculada como medida de control. Proporcionar almacenamiento y capacidad tampón para el efluente del lavador para que el proceso de tratamiento de aguas residuales sea más estable. Usar sulfuros u otros aglomerantes de Hg para reducir el Hg y otros metales pesados en el efluente final. Cuando se usa la RNCS junto con el lavado húmedo, se pueden reducir los niveles de NH₃ en el vertido de efluente aplicando una extracción de volátiles de NH₃. A su vez, el NH₃ recuperado se recicla usándolo como agente reductor de NO_x. 	<p>141</p>
<p>49.- Utilizar una combinación apropiada de las técnicas que mejoran el quemado de los residuos para conseguir un valor COT inferior al 3 % en peso en los restos de cenizas. Para ello se recomienda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de una combinación de diseño del horno, funcionamiento y tasa de producción de residuos que proporcione una agitación y un tiempo de residencia adecuados a temperaturas lo suficientemente altas. • Uso de hornos diseñados para retener físicamente los residuos dentro de la cámara de combustión y permitir así su combustión. • Uso de técnicas para la mezcla y pretratamiento de los residuos (MTD n.º 11). • Optimización y control de las condiciones de combustión. <p>Las técnicas son:</p> <ol style="list-style-type: none"> Mejora del quemado de las cenizas de horno. Selección de la tecnología de combustión. Aumento del tiempo de agitación y de residencia. Ajuste del rendimiento para mantener unas buenas condiciones de quemado y combustión. Reducción de la tasa de residuos que traspasan la parrilla y/o retorno de los residuos fríos a la cámara de combustión. 	<p>141</p>
<p>50.- Gestionar por separado las cenizas de horno, las cenizas volantes y los otros residuos de TGC para evitar la contaminación de las cenizas de horno y de ese modo mejorar el potencial de recuperación de las cenizas. Se trata también de una MTD que evalúa los niveles de contaminantes en la ceniza de la caldera y determina si es apropiada la separación o la mezcla con las cenizas de horno.</p>	<p>160</p>
<p>51.- Cuando se inicia una etapa previa de desempolvado, debe comprobarse la composición de las cenizas volantes recogidas para evaluar si se pueden reciclar, ya sea directamente o después de un tratamiento, en vez de eliminarlas.</p> <p>Las técnicas que se pueden usar son:</p> <ol style="list-style-type: none"> Separación de la fase de eliminación del polvo de los otros tratamientos de gases de combustión. Aplicación de un sistema adicional de limpieza de los gases de combustión. 	<p>143</p>

52.- Separación de los metales ferrosos y no ferrosos restantes respecto de las cenizas de horno para su reciclado, siempre que sea factible y económicamente viable.	160
53.- Tratamiento de las cenizas de horno (dentro o fuera del centro) con una combinación adecuada de: <ul style="list-style-type: none"> a) tratamiento de las cenizas de horno mediante envejecimiento; b) tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento seco; c) tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas de tratamiento húmedo; d) tratamiento de las cenizas de horno a partir de sistemas termales; e) horno giratorio a altas temperaturas (escorificación, 1100 - 1400 °C); f) cribaje y trituración de las cenizas de horno. dependiendo del grado de cumplimiento requerido de las especificaciones establecidas para su uso o en las instalaciones de tratamiento o eliminación receptoras.	161
54.- Tratamiento de los residuos de TGC (dentro o fuera del centro) en el grado que se requiera para cumplir con los requisitos de aceptación relativos a la opción de gestión de residuos seleccionada para éstos, incluyendo la consideración del uso de las técnicas de tratamiento de residuos de TGC. Estas técnicas son: <ul style="list-style-type: none"> a) Solidificación con cemento de los residuos de TGC. b) Vitrificación y fundición de los residuos de TGC. c) Extracción de ácidos de la caldera y las cenizas volantes. 	162
55.- Implantación de medidas de reducción acústica para cumplir con los requisitos locales.	97
56.- Aplicación de la gestión ambiental. El objetivo y la naturaleza de los SGA normalmente están relacionados con la naturaleza, la escala y la complejidad de la instalación, así como con los posibles impactos ambientales que en ella se produzcan.	97
69.- Controles de calidad adicionales en la IRP: uso de sistemas y procesos específicos; uso de un enfoque basado en el riesgo en función del origen de los residuos para el etiquetado, comprobación, muestreo y análisis de los residuos por almacenar o tratar. Los procedimientos analíticos deben estar gestionados por personal con la calificación pertinente y mediante los procesos adecuados. Véase también la MTD n.º 4	97
70.- La combinación, la mezcla y el pretratamiento de los residuos para mejorar su homogeneidad, características de combustión y de quemado hasta un nivel adecuado con la preocupación debida por las cuestiones de seguridad. Si se realiza una trituración también se debe proteger con atmósfera inerte. Se pueden usar las técnicas siguientes: <ul style="list-style-type: none"> a) Trituración de residuos peligrosos empaquetados y en bidones. b) Pretratamiento y preparación dirigida de los residuos sólidos para su combustión. 	98
71.- Uso de un sistema de eualización de la alimentación para residuos peligrosos sólidos para mejorar las características de combustión de los residuos alimentados y la estabilidad de la composición de los gases de combustión, también a través de un mejor control de las emisiones pico de CO a corto plazo.	98
72.- Inyección directa de residuos peligrosos líquidos y gaseosos cuando requieran una reducción específica de los riesgos de exposición, emisiones u olores.	99

73.- Uso de un diseño de cámara de combustión que permita la contención, agitación y transporte de los residuos, por ejemplo hornos rotatorios (con o sin refrigeración por agua). La refrigeración por agua en hornos rotatorios puede resultar favorable cuando el BVC de los residuos introducidos sea superior (p. ej. > 15-17 GJ/t) o se usen temperaturas más altas.	112
74.- Reducir la demanda energética de la instalación y lograr una demanda eléctrica media por debajo de 0,3 - 0,5 MWh/t de los residuos procesados.	126
75.- Para aquellos residuos de composición altamente variable que llegan a los IRP para uso comercial y a otros incineradores de residuos peligrosos, se deben usar: a) El TGC húmedo, que es generalmente una MTD que se aplica para mejorar el control de las emisiones a la atmósfera a corto plazo. b) Técnicas específicas para la reducción de las emisiones de yodo y bromo elementales, cuando dichas sustancias se encuentren en los residuos en concentraciones apreciables.	143
76.- El uso de la tecnología de lecho fluidificado en instalaciones puede ser, en general, una MTD gracias a la mayor eficiencia de combustión y al menor volumen de gases de combustión generados por tales sistemas.	108
77. El secado de los lodos de alcantarillado, preferiblemente con calor recuperado de la incineración y de forma que, en general, no se necesiten combustibles adicionales para la combustión en el funcionamiento normal de la instalación, se considera una MTD.	108

10. ANEXO II - GLOSARIO

A

ACV: análisis de ciclo de vida
APA: agencia de protección ambiental
As: arsénico

B

BREF: documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles
BTX: benceno, tolueno y xileno
BVC: bajo valor calorífico

C

CaCl₂: cloruro cálcico
CaF₂: fluoruro cálcico
CaO: cal viva
CAR/PL: Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia
CCA: control de la contaminación del aire
CCS: cámara de combustión secundaria
Cd: cadmio
CDD: combustible derivado de desechos
CEC: calor y energía combinados
CEN: comité europeo de normalización
Cl: cloro
CLS: combustible líquido sustituto
Co: cobalto
CO: monóxido de carbono
CO₂: dióxido de carbono
COP: contaminante orgánico persistente
COT: carbono orgánico total
COV: compuestos orgánicos volátiles
CPC: cámara de postcombustión
Cr: cromo
CRA: condensadores refrigerados por aire
Cu: cobre

D

DBO: demanda biológica de oxígeno
DFC: dinámica de fluidos computacional
DQO: demanda química de oxígeno

E

ECA: estándar de calidad ambiental
EEB: encefalopatía esponjiforme bovina
EIA: evaluación de impacto ambiental
EQT: equivalente tóxico

F

FAD: flotación por aire disuelto
FDM: paneles de fibra de densidad media
Fe: hierro

FeSO₄: sulfato ferroso
FQ: fisicoquímico

G

GBP: libra esterlina
GEI: gas de efecto invernadero

H

H₂S: sulfuro de hidrógeno
H₃PO₄: ácido fosfórico
HAP: hidrocarburo aromático policíclico
HCB: hexaclorobenceno
HCl: ácido clorhídrico
HF: ácido fluorhídrico
Hg: mercurio

I

IAA: informe ambiental anual
IBC: contenedor intermedio a granel
IPPC: prevención y control integrados de la contaminación
Ir: iridio
IRP: incinerador/incineración de residuos peligrosos
IRSM: incinerador/incineración de residuos sólidos municipales

K

K: potasio

L

LFB: lecho fluidificado de burbujas
LFC: lecho fluidificado circulante

M

Mo: molibdeno
MPA: mejores prácticas ambientales
MTD: mejores técnicas disponibles

N

N: nitrógeno
Na: sodio
Na₂SO₄: sulfato sódico
NaCl: cloruro sódico
NaOH: hidróxido de sodio
Ni: níquel
NMOC: compuestos orgánicos sin metano
NOx: óxidos de nitrógeno

P

P: fósforo
PAM: plan de acción para el Mediterráneo
PAE: Programa de Acciones Estratégicas
Pb: plomo
PCB: bifenilo policlorado
PCDD/F: dibenzodioxinas y dibenzofuranos policlorados
PCDM: policlorodifenilmetano
PCI: productos de combustión incompleta
PDG: planta de desulfurización de gas
PES: precipitador electrostático
PGA: programa de gestión ambiental

PLR: productos limpios reciclados
PM10: partículas finas
PRI: periodo de recuperación de la inversión
Pt: platino
PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales
PTE: planta de tratamiento de efluentes
PVC: cloruro de polivinilo

R

RCS: reducción catalítica no selectiva
RCS: reducción catalítica selectiva
RFA: residuos de fragmentadora de automóviles
Rh: rodio
RP: residuos peligrosos

S

SGA: sistema de gestión ambiental
SO₂: dióxido de azufre
SO₃: trióxido de azufre
SOx: óxidos de azufre

T

TDA: desasfaltado térmico
TGC: tratamiento de gases de combustión
TIR: tasa interna de rentabilidad
Tl: talio
TMB: tratamiento mecánico biológico
UE: Unión Europea

V

VAN: valor actual neto
VC: valor calorífico
VCN: valor calorífico neto
VLE: valores límite de emisión
VRP: vertederos de residuos peligrosos

W

WTE: conversión de residuos a energía

Z

Zn: Zinc

11.REFERENCIAS

- [1] Comisión Europea – Dirección General de Medio Ambiente. *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives (B4-3040/2000/306517/MAR/E3)*. Informe final. WRc: CO5087-4. Julio de 2003.
- [2] Comisión Europea – Dirección General Centro Común de Investigación (CCI). Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos. Sostenibilidad en la Industria, la energía y el Transporte. Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC). *Draft Reference Document of Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries*. Borrador Final. Mayo de 2005.
- [3] Comisión Europea – Dirección General Centro Común de Investigación (CCI). Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos. Sostenibilidad en la Industria, la Energía y el Transporte. Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC). *Draft Reference Document of Best Available Techniques for Waste Incineration*. Mayo de 2005.
- [4] EPA. *BAT Guidance Notes for the Waste Sector: Landfill Activities*. Borrador. Diciembre de 2004.
- [5] *Preparation of a Set of Tools for the Selection, Design and Operation of Hazardous Waste Landfills in Hyper-dry Areas. Outlines of the guidelines for site selection, environmental impact assessment, design and operation*. Preparado por el Centro Regional de la Convención de Basilea para la Formación y la Transferencia de Tecnología para los Países Árabes en El Cairo (Cairo-BCRC). Abril de 2004.
- [6] Comisión Europea – Dirección General Centro Común de Investigación (CCI). Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos. Sostenibilidad en la Industria, la Energía y el Transporte. Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC). *Draft Reference Document of Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries*. Diciembre de 2001.
- [7] PNUMA/PAM – CAR/PL. *Plan for the Reduction by 20 % by 2010 of the Generation of Hazardous Wastes from Industrial Installations for the Mediterranean Region*. Informe Técnico MAP n.º 145. Atenas, 2004.

EO

IA



Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)

Dr. Roux, 80 - 08017 Barcelona (España)
Tel.: + 34 93 553 87 90 - Fax: + 34 93 553 87 95
E-mail: cleanpro@cprac.org
<http://www.cprac.org>



Impreso sobre papel 100 % reciclado libre de cloro