

Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea
para la producción de
Especialidades Químicas Inorgánicas

Documento BREF

MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES DE REFERENCIA EUROPEA PARA LA PRODUCCIÓN DE
ESPECIALIDADES QUÍMICAS INORGÁNICAS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Centro de Publicaciones
P.º Infanta Isabel, 1
28014 Madrid



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Foto de cubierta:
Magnus Manske

Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea
para la producción de
Especialidades Químicas Inorgánicas

Documento BREF



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



COMISIÓN EUROPEA

MADRID, 2012

Título original en inglés: *Integrated Pollution Prevention and Control Reference. Document on Best Available Techniques for the Production of Speciality Inorganic Chemicals.*

Traducción al español realizada por el
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta

Paseo Infanta Isabel, 1
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Maquetación, impresión y encuadernación:

Imprenta TARAVILLA, S.L.
Mesón de Paños, 6 - 28013 Madrid

Tienda virtual: www.magrama.es
e-mail: centropublicaciones@magrama.es

NIPO: 280-12-126-4

ISBN: 978-84-491-1205-8

Depósito Legal: M-20060-2012

Catálogo General de publicaciones oficiales:

<http://publicaciones.boe.es>

Datos técnicos: Formato: 17 x 24 cm. Caja de texto: 13,2 x 19 cm. Composición: una columna. Tipografía: Century Schoolbook a cuerpos 10 al 12. Encuadernación: Rústica, cosido hilo. Papel interior offset de 90 grs. reciclado 100% libre de cloro, 1/1 tintas. Cubierta en cartulina gráfica de 300 grs. 100% libre de cloro, 4/0 tintas, plastificado mate.



PAPEL RECICLADO
LIBRE DE CLORO

NOTA INTRODUCTORIA

El 1 de julio de 2002 se aprobó la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 96/61/CE.

La ley exige un enfoque integrado de la industria en su entorno y el conocimiento por parte de todos los implicados —industria, autoridades competentes y público en general— de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), con el fin de reflejar todos estos aspectos en la Autorización Ambiental Integrada que otorgan las CCAA.

Se establece, en el marco de la Unión Europea, un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias para la elección de estas MTD, que deben servir de referencia común para los Estados miembros, a la hora de establecer el objetivo tecnológico de aplicación a las diferentes actividades.

A tal efecto, la Comisión Europea a través de la Oficina Europea de IPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), ha organizado una serie de grupos de trabajo técnico que, por epígrafes y actividades, proponen a la Comisión Europea los Documentos de Referencia Europeos de las Mejores Técnicas Disponibles (BREFs).

Los BREF informarán a las autoridades competentes sobre qué es técnica y económicamente viable para cada sector industrial, en orden a mejorar sus actuaciones medioambientales y, consecuentemente, lograr la mejora del medio ambiente en su conjunto.

El Grupo de Trabajo encargado de la valoración de los Mejores Técnicas Disponibles para la producción de Especialidades Químicas Inorgánicas comenzó sus trabajos en octubre de 2003 y el documento final fue aprobado por la Comisión en agosto de 2007: «*Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Speciality Inorganic Chemicals*» Está disponible en versión española en la página web del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (<http://www.prtr-es.es>) y en versión inglesa, en la web de la Oficina Europea de IPPC: <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/ippc/index.htm>. y en la pagina: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha asumido la tarea, de acuerdo con los mandatos de la Directiva IPPC y de la Ley 16/2002, de

llevar a cabo un correcto intercambio de información en materia de Mejores Técnicas Disponibles; este documento, en cumplimiento de las exigencias legales, obedece a una serie de traducciones emprendidas por el Ministerio de Medio Ambiente sobre documentos BREF europeos.

Se pretende dar un paso más en la adecuación progresiva de la industria española a los principios de la Ley 16/2002, cuya aplicación efectiva debe conducir a una mejora del comportamiento ambiental de las instalaciones afectadas, que las haga plenamente respetuosas con el medio ambiente.

ÍNDICE

	<i>Págs.</i>
NOTA INTRODUCTORIA	V
RESUMEN EJECUTIVO	XXIII
PREFACIO	XXXIX
ÁMBITO DE APLICACIÓN	XLV
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. La industria química en Europa	1
1.2. El sector de las SIC en Europa	1
1.2.1. Producción y características del mercado	2
1.2.2. Perfiles de las empresas	3
1.2.3. Visión global del sector	3
1.2.4. Competencia	4
1.3. Cuestiones medioambientales clave del sector de las SIC	5
2. PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADOS	7
2.1. Características generales de un proceso de producción de SIC	7
2.2. Fases comunes del proceso	9
2.2.1. Disolución de materias primas	10
2.2.2. Mezcla	11
2.2.3. Síntesis/reacción	12
2.2.4. Calcinación	12
2.2.5. Lavado	13
2.2.6. Secado	14
2.2.7. Operaciones de reducción de tamaño y separación	15
2.2.7.1. Molienda o trituración por vía seca	15
2.2.7.2. Molienda por vía húmeda	16
2.2.7.3. Tamizado	17
2.2.8. Condensación	18
2.2.9. Destilación	18
2.2.10. Evaporación	20
2.2.11. Separación sólido/líquido y sólido/gas	21
2.2.12. Hidrólisis	22
2.2.13. Extracción	23
2.3. Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares y productos acabados	24
2.4. Medidas integradas en los procesos para la prevención y reducción de las emisiones	25
2.5. Sistemas de reducción de las emisiones	26
2.5.1. Panorama general	26

	<i>Págs.</i>
2.5.2. Técnicas de tratamiento de gases residuales	28
2.5.3. Técnicas de tratamiento de aguas residuales	30
2.6. Equipo e infraestructura del proceso	31
2.6.1. Reactores	31
2.6.2. Bombas, compresores y ventiladores	34
2.6.3. Tuberías	34
2.6.4. Válvulas	35
2.6.5. Fluidos de servicio público	36
2.6.6. Sistemas de enfriamiento y refrigeración	36
2.6.7. Sistemas de limpieza	38
2.6.8. Sistemas de aspiración	39
2.6.9. Sistemas de almacenamiento	40
2.6.10. Sistemas de transferencia y manipulación	41
2.6.11. Prácticas de monitorización	41
2.7. Suministro energético	42
2.8. Sistemas de gestión	42
 3. NIVELES COMUNES DE CONSUMO Y EMISIÓN	43
3.1. Emisiones a la atmósfera	44
3.1.1. Emisiones difusas a la atmósfera	47
3.1.2. Emisiones a la atmósfera de fuentes puntuales	47
3.2. Vertidos al agua	48
3.3. Residuos	51
3.4. Olores y emisiones sonoras	54
3.5. Consumo energético	54
3.6. Consumo de agua	54
3.7. Factores que afectan a los niveles de consumo y a las emisiones	55
3.7.1. Definición de límite de instalación y grado de integración	55
3.7.2. Determinación de niveles de consumo y emisión	55
3.7.3. Definición de residuos	56
 4. TÉCNICAS COMUNES QUE HAN DE TENERSE EN CUENTA PARA DETERMINAR LAS MTD	57
4.1. Estructura de este capítulo	58
4.2. Suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas, materias auxiliares y productos acabados	59
4.2.1. Reciclado o reutilización de contenedores o bidones usados	59
4.2.2. Reciclado de materiales de envasado « blandos »	60
4.2.3. Almacenamiento de gas líquido y gas licuado	61
4.2.4. Transferencia y manipulación de gas líquido y gas licuado	61
4.2.5. Almacenamiento de sólidos	61
4.2.6. Manipulación de sólidos	62
4.3. Síntesis/reacción/calcinación	62
4.3.1. Sustitución de materias primas	62
4.3.2. Mejora de la eficacia del reactor	63
4.3.3. Mejora de los sistemas de catálisis	65

	<i>Págs.</i>
4.3.4. Optimización de los procesos	65
4.4. Reducción de las emisiones	66
4.4.1. Técnicas de tratamiento del agua residual	67
4.4.1.1. Técnicas de separación o clarificación	69
4.4.1.1.1. Sedimentación (incluyendo coagulación/flocculación) de sólidos	69
4.4.1.1.2. Flotación por aire	71
4.4.1.1.3. Filtración	72
4.4.1.1.4. Filtración a través de membrana (microfiltración o ultrafiltración)	74
4.4.1.2. Técnicas físicas o químicas	75
4.4.1.2.1. Precipitación	75
4.4.1.2.2. Cristalización	77
4.4.1.2.3. Oxidación química	78
4.4.1.2.4. Reducción química	80
4.4.1.2.5. Nanofiltración (NF) / Osmosis inversa (OI)	81
4.4.1.2.6. Adsorción	82
4.4.1.2.7. Intercambio de iones	84
4.4.1.2.8. Evaporación	85
4.4.1.2.9. Separación por desorción	86
4.4.1.2.10. Incineración	88
4.4.2. Técnicas de tratamiento del gas residual	89
4.4.2.1. Técnicas de tratamiento del gas residual para la reducción de partículas	89
4.4.2.1.1. Separadores	90
4.4.2.1.2. Ciclones	91
4.4.2.1.3. Lavadores húmedos de polvo	92
4.4.2.1.4. Precipitador electrostático (ESP)	94
4.4.2.1.5. Filtros de tela y cerámicos	95
4.4.2.1.6. Filtro antipolvo de dos etapas	97
4.4.2.1.7. Filtro absoluto para partículas de elevada eficacia (HEPA)	98
4.4.2.1.8. Filtro de aire de elevada eficacia (HEAF)	100
4.4.2.1.9. Filtro nebulizador	101
4.4.2.2. Técnicas de tratamiento del gas residual para reducir los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los compuestos inorgánicos	103
4.4.2.2.1. Separación por membrana	103
4.4.2.2.2. Condensación y condensación criogénica	105
4.4.2.2.3. Adsorción	107
4.4.2.2.4. Lavador de gases húmedo	109
4.4.2.2.5. Eliminación de HCN y NH ₃ de los gases residuales	110
4.4.2.2.6. Sistemas de oxidación de doble lecho	113
4.4.2.2.7. Incineración de emisiones gaseosas con compuestos orgánicos volátiles (COV)	114
4.4.2.2.8. Oxidación catalítica	117

	<u>Págs.</u>
4.4.2.3. Técnicas de tratamiento del gas residual para reducir los contaminantes gaseosos en las emisiones de gases procedentes de la combustión	118
4.4.2.3.1. Inyección de sorbente para reducir los gases ácidos y fluoruros	118
4.4.2.3.2. Reducción selectiva de NO _x (SNCR y SCR)	120
4.4.2.3.3. Técnicas de reducción de SO ₂	122
4.4.3. Técnicas combinadas de tratamiento del agua residual y el gas residual	123
4.4.3.1. Lavado y reciclado de cianuros de los gases residuales y el agua residual utilizando peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂) como agente oxidante	123
4.4.4. Técnicas de tratamiento de los residuos líquidos (no acuosos) y sólidos	126
4.4.4.1. Espesamiento y desecación	126
4.4.4.2. Estabilización y acondicionamiento	128
4.4.4.3. Reducción térmica del lodo	129
4.5. Infraestructura	129
4.5.1. Sistemas de limpieza in situ (LIS) del equipo contaminado con compuestos sólidos peligrosos	129
4.5.2. Uso de un sistema informatizado de control para el funcionamiento de la instalación	132
4.6. Energía	133
4.6.1. Metodología de mínimos	133
4.7. Técnicas transfronterizas	134
4.7.1. Protección del suelo	134
4.7.2. Elevado nivel de educación y formación continua del personal	137
4.7.3. Aplicación de un código industrial (CI)	138
4.7.4. Recogida y tratamiento del agua de lluvia	139
4.7.5. Evaluación de la seguridad	141
4.7.5.1. Evaluación de la seguridad físico-química de las reacciones químicas	141
4.7.5.2. Prevención de reacciones descontroladas	146
4.7.6. Instrumentos de gestión medioambiental	147
5. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES GENÉRICAS	159
6. FAMILIAS REPRESENTATIVAS DE ESPECIALIDADES QUÍMICAS INORGÁNICAS	171
6.1. Pigmentos inorgánicos especiales	171
6.1.1. Información general	171
6.1.1.1. Usos	172
6.1.1.1.1. Pigmentos de óxido de hierro	173
6.1.1.1.2. Pigmentos inorgánicos complejos	174
6.1.1.1.3. Pigmentos de sulfuro de cinc y sulfato de bario precipitado (blanco fijo)	176

	<i>Págs.</i>
6.1.1.2. Toxicidad	176
6.1.1.3. Producción y consumo de pigmentos inorgánicos especiales en Europa y en el mundo	177
6.1.1.4. Características de la industria europea de pigmentos inorgánicos especiales	178
6.1.1.5. Economía	178
6.1.2. Procesos y técnicas aplicados	179
6.1.2.1. Síntesis de los pigmentos	179
6.1.2.1.1. Proceso químico por vía húmeda	179
6.1.2.1.2. Proceso de calcinación por vía seca	181
6.1.2.1.3. Impacto medioambiental de la síntesis de los pigmentos	181
6.1.2.2. Elaboración de pigmentos	182
6.1.2.3. Medidas para la reducción de las emisiones	183
6.1.2.3.1. Principio de tratamiento del gas residual	183
6.1.2.3.2. Principio de tratamiento del agua residual	185
6.1.2.4. Pigmentos de óxido de hierro	188
6.1.2.4.1. Precipitación y proceso de Penniman-Zoph	189
6.1.2.4.2. Proceso Laux	193
6.1.2.5. Pigmentos de óxido de cromo (III)	195
6.1.2.5.1. Tratamiento de gases residuales	197
6.1.2.5.2. Tratamiento de aguas residuales	197
6.1.2.5.3. Residuos	198
6.1.2.6. Pigmentos inorgánicos complejos (CIC)	198
6.1.2.6.1. Tratamiento de gases residuales	200
6.1.2.6.2. Tratamiento de aguas residuales	200
6.1.2.7. Pigmentos de sulfuro de cinc, sulfato de bario y litopón	200
6.1.2.7.1. Pigmentos de sulfuro de cinc y litopón	200
6.1.2.7.2. Pigmentos de sulfato de bario precipitado	203
6.1.2.7.3. Tratamiento de aguas residuales	204
6.1.3. Niveles de consumo y emisión	205
6.1.3.1. Consumo de materias primas, productos químicos auxiliares, energía y agua	205
6.1.3.1.1. Consumo de energía	205
6.1.3.1.2. Emisiones a la atmósfera	206
6.1.3.1.3. Consumo de agua y emisiones	208
6.1.3.1.4. Subproductos y residuos	213
6.1.3.1.5. Ruido	214
6.1.3.1.6. Olores	214
6.1.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD .	214
6.1.4.1. Uso de materias primas no cancerígenas	214
6.1.4.2. Proceso de Penniman-Zoph para fabricar pigmentos de óxido de hierro amarillos	215
6.1.4.3. Reducción de los fluoruros y el boro mediante lavado con cal	217
6.1.4.4. Uso de agua destilada procedente del sistema de evaporación o concentración para lavar los pigmentos	218
6.1.4.5. Eliminación del cromo del agua residual	219
6.1.4.6. Control estricto del valor de pH de la reacción	220

	<i>Págs.</i>
6.1.4.7. Reciclado de los lodos de precipitación en la propia producción	221
6.1.4.8. Tratamiento biológico de las aguas residuales con carga de nitratos	221
6.1.4.9. Pretratamiento de las aguas residuales con carga de metales pesados	223
6.1.4.10. Tratamiento final de las aguas residuales con carga de metales pesados	224
6.1.5. Mejores técnicas disponibles	225
6.1.6. Técnicas emergentes	228
6.2. Compuestos de fósforo	228
6.2.1. Información general	228
6.2.1.1. Usos	229
6.2.1.2. Toxicidad	229
6.2.1.3. Explosiones y peligros de incendio	230
6.2.1.4. Producción de compuestos de fósforo en Europa y todo el mundo	230
6.2.1.5. Características de la industria europea de compuestos de fósforo	231
6.2.1.6. Economía	231
6.2.2. Procesos y técnicas aplicados	231
6.2.2.1. Química de procesos	231
6.2.2.2. Procesos de producción	232
6.2.2.2.1. Producción de PCl_3	232
6.2.2.2.2. Producción de POCl_3	235
6.2.2.2.3. Producción de PCl_5	236
6.2.2.3. Almacenamiento y manipulación de materias primas	236
6.2.2.4. Almacenamiento y manipulación de productos acabado	237
6.2.2.5. Materiales utilizados para equipos de producción	237
6.2.3. Niveles de consumo y emisión	237
6.2.3.1. Consumo de energía	238
6.2.3.2. Consumo de agua	238
6.2.3.3. Emisiones a la atmósfera	238
6.2.3.4. Vertidos al agua	239
6.2.3.5. Residuos	240
6.2.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD .	240
6.2.4.1. Uso de agua condensada caliente para fundir fósforo elemental y mantenerlo en forma líquida	240
6.2.4.2. Uso de un gas inerte (normalmente N_2) para proteger el fósforo elemental como materia prima	241
6.2.4.3. Uso del agua para proteger el fósforo elemental y reciclado del agua para el lavado de gases residuales	242
6.2.4.4. Uso de fósforo elemental con pocas impurezas orgánicas e inorgánicas	243
6.2.4.5. Uso de lavado neutro para la reducción del PCl_3 y los óxidos de fósforo en los gases residuales	243
6.2.4.6. Uso del lavado alcalino para la reducción del PCl_3 en los gases residuales	244

	<i>Págs.</i>
6.2.4.7. Uso de sistemas totalmente cerrados	245
6.2.4.8. Incineración de los residuos de la destilación procedentes de la producción de PCl ₃	245
6.2.4.9. Medidas de almacenamiento para compuestos de fósforo ..	246
6.2.5. Mejores técnicas disponibles	247
6.3. Siliconas	249
6.3.1. Información general	249
6.3.1.1. Usos	249
6.3.1.2. Toxicología y aspectos medioambientales para el uso de siliconas	250
6.3.1.3. Capacidad de producción	251
6.3.1.4. Características de la industria europea de la silicona	251
6.3.1.5. Economía	251
6.3.2. Procesos y técnicas aplicados	251
6.3.2.1. Productos químicos auxiliares y servicios	252
6.3.2.2. Almacenamiento y manipulación de materias primas y productos químicos auxiliares	254
6.3.2.3. Síntesis de cloruro de metilo	254
6.3.2.4. Trituración de silicio	255
6.3.2.5. Síntesis directa	256
6.3.2.6. Destilación	257
6.3.2.7. Hidrólisis/condensación o metanólisis	257
6.3.2.8. Síntesis de polímeros	258
6.3.2.8.1. Polimerización de equilibrio	259
6.3.2.8.2. Policondensación	259
6.3.3. Niveles de consumo y emisión	260
6.3.3.1. Consumo de materias primas, productos químicos auxiliares, energía y agua	260
6.3.3.1.1. Consumo de materias primas y productos químicos auxiliares	261
6.3.3.1.2. Consumo de energía	261
6.3.3.1.3. Consumo de agua	261
6.3.3.2. Emisiones a la atmósfera	262
6.3.3.3. Vertidos al agua	264
6.3.3.4. Subproductos y residuos sólidos	265
6.3.3.4.1. Subproductos	265
6.3.3.4.2. Residuos	266
6.3.3.5. Ruido	266
6.3.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD .	266
6.3.4.1. Almacenamiento de silicio elemental en silos	266
6.3.4.2. Optimización del consumo de servicios mediante la metodología de mínimos	267
6.3.4.3. Sistema de eliminación del polvo por vía seca para la trituración, el almacenamiento y la manipulación del silicio elemental	268
6.3.4.4. Optimización de la química para la síntesis directa	270
6.3.4.5. Recuperación del cloruro de metilo mediante la condensación con intercambiadores térmicos de agua	271

	<i>Págs.</i>
6.3.4.6. Recuperación del cloruro de metilo mediante la condensación utilizando fluidos criogénicos	272
6.3.4.7. Condensación del metilclorosilano mediante condensadores de aire	273
6.3.4.8. Oxidación térmica de gases residuales que contienen hidrocarburos ligeros y compuestos organoclorados	273
6.3.4.9. Tratamiento del agua residual de la producción de PDMS	275
6.3.4.10. Minimización de la cantidad de agua utilizada en el proceso de producción	277
6.3.4.11. Reutilización del agua formada en la etapa de la síntesis del cloruro de metilo para la hidrólisis	278
6.3.4.12. Recuperación de HCl de la hidrólisis del dimetildiclorosilano	279
6.3.4.13. Selección del tamaño de las partículas de silicio elemental	280
6.3.4.14. Utilización de un almacenamiento cubierto para el silicio elemental	281
6.3.4.15. Minimización de la fuente de energía de ignición procedente de la trituración del silicio elemental	281
6.3.4.16. Minimización de las fuentes de explosión de la trituración y del transporte del silicio elemental	282
6.3.4.17. Refrigeración de las columnas de destilación con aire	284
6.3.4.18. Fuente de alimentación de reserva para los tratamientos del agua residual	284
6.3.5. Mejores técnicas disponibles	285
6.4. Especialidades químicas inorgánicas (SIC) explosivas	288
6.4.1. Información general	290
6.4.1.1. Usos	290
6.4.1.2. Toxicidad	291
6.4.1.3. Capacidad de producción	291
6.4.1.4. Características de la industria europea de SIC explosivas.	292
6.4.1.5. Economía	292
6.4.2. Procesos y técnicas aplicados	293
6.4.2.1. Química de procesos	293
6.4.2.2. Almacenamiento y manipulación de materias primas y productos químicos auxiliares	294
6.4.2.3. Solución de materias primas	294
6.4.2.4. Reacción	294
6.4.2.5. Purificación de SIC explosivas	295
6.4.2.6. Secado de SIC explosivas	295
6.4.2.7. Manipulación y almacenamiento de SIC explosivas	296
6.4.3. Niveles de consumo y emisión	296
6.4.3.1. Consumo de materias primas y productos químicos auxiliares	297
6.4.3.2. Consumo de energía	299
6.4.3.3. Consumo de agua	299
6.4.3.4. Emisiones a la atmósfera	300
6.4.3.5. Vertidos al agua	300

	<i>Págs.</i>
6.4.3.6. Residuos sólidos	303
6.4.3.7. Olores y emisiones sonoras	304
6.4.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD .	304
6.4.4.1. Eliminación del plomo de las aguas residuales por precipitación con ácido sulfúrico o carbonato de sodio (técnica de pretratamiento)	304
6.4.4.2. Eliminación de los restos de materiales explosivos que contienen plomo presentes en las aguas residuales mediante una fase de neutralización	306
6.4.4.3. Reducción de DQO mediante el tratamiento con carbón activo	309
6.4.4.4. Destrucción de las impurezas explosivas presentes en las aguas residuales	310
6.4.4.5. Protección del suelo	312
6.4.5. Mejores técnicas disponibles	314
6.5. Cianuros	316
6.5.1. Información general	316
6.5.1.1. Usos y mercados	317
6.5.1.2. Calidad de los productos de cianuro/especificaciones	318
6.5.1.3. Toxicidad	319
6.5.1.4. Producción de cianuros en Europa y en todo el mundo	320
6.5.1.5. Características de la industria del cianuro europea	320
6.5.1.6. Economía	320
6.5.2. Procesos y técnicas aplicados	321
6.5.2.1. Tipos principales de procesos de producción	321
6.5.2.2. Química de procesos	323
6.5.2.3. Almacenamiento y manipulación de materias primas y productos químicos auxiliares	323
6.5.2.4. Neutralización/cristalización	324
6.5.2.5. Filtración	324
6.5.2.6. Secado	325
6.5.2.7. Compactación	325
6.5.2.8. Granulación	325
6.5.2.9. Separación de polvo fino/tamizado/aglomeración	325
6.5.2.10. Embalaje y almacenamiento de cianuros	325
6.5.2.11. Manipulación y almacenamiento de cianuros	326
6.5.3. Niveles de consumo y de emisión	328
6.5.3.1. Consumo de materias primas y productos químicos auxiliares	328
6.5.3.2. Consumo de energía	329
6.5.3.3. Consumo de agua	329
6.5.3.4. Emisiones a la atmósfera	330
6.5.3.5. Vertidos al agua	332
6.5.3.6. Residuos sólidos	333
6.5.3.7. Olores y emisiones sonoras	333
6.5.3.8. Monitorización	333
6.5.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD .	334

6.5.4.1. Destrucción de cianuros de los gases residuales y las aguas residuales utilizando peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como agente oxidante	334
6.5.4.2. Incineración de aire del proceso con compuestos orgánicos volátiles (COV)	337
6.5.4.3. Sistema de limpieza in situ (LIS) para equipo contaminado con cianuros	339
6.5.4.4. Eliminación de HCN y NH_3 de los gases residuales	341
6.5.4.5. Envases retornables para el transporte de cianuros sólidos	343
6.5.4.6. Uso de un sistema informatizado de control del funcionamiento de la instalación	344
6.5.4.7. Doble contención en instalaciones de cianuro	345
6.5.4.8. Aplicación del Código Internacional de Gestión del Cianuro	346
6.5.4.9. Medidas de almacenamiento para cianuros sólidos	347
6.5.4.10. Uso de NaOH y KOH con un contenido muy bajo de metales pesados	348
6.5.4.11. Nivel elevado de educación y formación continua del personal	349
6.5.5. Mejores técnicas disponibles	351
6.5.6. Técnicas emergentes	355
7. TÉCNICAS EMERGENTES	357
7.1. Descontaminación de gases de escape y aguas residuales mediante intercambiadores iónicos inorgánicos químicamente modificados y carbón activo	357
7.2. Utilización de residuos industriales y especialmente residuos petroquímicos para la generación de energía con emisiones bajas	358
7.3. Filtración del aire para la reducción de los compuestos volátiles de cromo en la industria del curtido	359
7.4. Desarrollo y aplicación de electrodos cerámicos avanzados para la eliminación electroquímica de cianuros en aguas residuales	360
8. OBSERVACIONES FINALES	363
8.1. Calendario del proceso de trabajo	363
8.2. Fuentes de información y desarrollo de este documento	364
8.3. Nivel de consenso alcanzado	366
8.4. Recomendaciones para trabajos futuros	366
8.5. Sugerencias de temas para futuros proyectos de I+D	368
REFERENCIAS	371
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIACIONES	375
ANEXOS	387
Anexo I. Cuestionario utilizado para recoger información medioambiental sobre las instalaciones de SIC	387

LISTA DE FIGURAS

	<i>Págs.</i>
Figura 2.1: Vista esquemática de un proceso de fabricación de SIC	7
Figura 2.2: Resumen de los sistemas de reducción utilizados en una instalación SIC típica	27
Figura 3.1: Factores de los que dependen el tipo y cantidad de residuos en una instalación típica de SIC	51
Figura 4.1: Técnicas de tratamiento del agua residual en relación con los contaminantes	68
Figura 4.2: Principales fuentes de polvo y técnicas de reducción utilizadas en el sector de las SIC	89
Figura 4.3: Eliminación de HCN y NH ₃ de los gases residuales	111
Figura 4.4: Incineración del aire del proceso que contiene compuestos orgánicos volátiles (COV)	115
Figura 4.5: Lavado y reciclado de cianuros de los gases residuales y el agua residual	124
Figura 4.6: Un sistema de limpieza in situ (LIS) del equipo contaminado con compuestos sólidos peligrosos	130
Figura 4.7: Procedimiento de evaluación de la seguridad	142
Figura 4.8: Estrategia de evaluación iterativa para las operaciones normales ...	144
Figura 6.1: Síntesis y procesamiento de pigmentos	180
Figura 6.2: Tratamiento del gas residual para la reducción del polvo total procedente del gas residual de un secadero y de un torno/molino.	184
Figura 6.3: Diagrama de flujo del tratamiento de efluentes acuosos	187
Figura 6.4: Procesos por vía húmeda para la producción de pigmentos de óxido de hierro y medidas para la reducción de emisiones	189
Figura 6.5: Etapas de los procesos de oxidación acuosa en la producción de pigmentos de óxido de hierro	191
Figura 6.6: Producción de pigmentos de hierro mediante el proceso Laux	194
Figura 6.7: Producción de pigmentos de óxido de cromo (III)	196
Figura 6.8: Producción de pigmentos inorgánicos complejos	199
Figura 6.9: Diagrama de flujo para la producción de pigmentos de litopón	201

Págs.

Figura 6.10: Producción de tricloruro de fósforo mediante el proceso de reacción gas-líquido	233
Figura 6.11: Producción de tricloruro de fósforo mediante reacción de fase gaseosa	234
Figura 6.12: Producción de cloruro de fosforilo	235
Figura 6.13: Producción de pentacloruro de fósforo	236
Figura 6.14: Etapas del proceso de producción de siliconas	253
Figura 6.15: Síntesis de cloruro de metilo	255
Figura 6.16: Ejemplo de la hidrólisis de dimetildiclorosilano a oligosiloxano	258
Figura 6.17: Consumo de materias primas, productos auxiliares químicos, energía y agua para la producción de siliconas	260
Figura 6.18: Emisiones a la atmósfera procedentes de la producción de siliconas	262
Figura 6.19: Vertidos al agua procedentes de la producción de PDMS	264
Figura 6.20: Ejemplo de un sistema de filtros de tela utilizado en la producción de siliconas	268
Figura 6.21: Estructura química de algunos explosivos primarios	289
Figura 6.22: Consumo de materias primas, productos auxiliares químicos, energía y agua para la producción de SIC explosivas	296
Figura 6.23: Vertidos al agua procedentes de la producción de SIC explosivas	297
Figura 6.24: Comportamiento básico de una solución de cianuro	317
Figura 6.25: Principales etapas de la producción de cianuros de sodio o potasio mediante un proceso de solución en agua	322
Figura 6.26: Emisiones a la atmósfera procedentes de la producción de cianuros	331
Figura 6.27: Vertidos al agua procedentes de la producción de cianuros	332
Figura 6.28: Destrucción de cianuros de los gases residuales y el agua residual ..	335
Figura 6.29: Incineración del aire del proceso que contiene compuestos orgánicos volátiles (COV)	337
Figura 6.30: Un sistema de limpieza in situ (LIS) del equipo contaminado con cianuros	339
Figura 6.31: Eliminación de HCN y NH ₃ de los gases residuales	341

LISTA DE TABLAS

	<i>Págs.</i>
Tabla 2.1: Posible impacto medioambiental de las fases comunes del proceso de la fabricación de sustancias SIC	9
Tabla 2.2: Selección de técnicas para la reducción de emisiones de gases residuales en relación con el contaminante que se desea eliminar	29
Tabla 2.3: Principales contaminantes del agua residual y sus respectivas técnicas de tratamiento	30
Tabla 3.1: Principales contaminantes que podrían emitirse a la atmósfera durante la producción de algunas sustancias SIC	44
Tabla 3.2: Contaminantes que podrían transportarse por el agua residual y descargarse en las aguas receptoras durante la producción de algunas sustancias SIC	48
Tabla 4.1: Información desglosada para las técnicas descritas en el Capítulo 4.	57
Tabla 4.2: Datos operativos asociados al uso de técnicas de precipitación	76
Tabla 4.3: Datos operativos asociados al uso de la técnica de adsorción	83
Tabla 4.4: Datos operativos asociados al uso de la técnica de separadores	90
Tabla 4.5: Datos operativos asociados al uso de lavadores húmedos de polvo ...	93
Tabla 4.6: Datos operativos asociados al uso de precipitadores electrostáticos .	95
Tabla 4.7: Datos operativos asociados al uso de filtros de tela y cerámicos	96
Tabla 4.8: Datos operativos asociados al uso de filtros antipolvo de dos etapas.	98
Tabla 4.9: Datos operativos asociados al uso de filtros HEPA	99
Tabla 4.10: Datos operativos asociados al uso de filtros HEAF	101
Tabla 4.11: Datos operativos asociados al uso de filtros nebulizadores	102
Tabla 4.12: Datos operativos asociados al uso de separación por membrana	104
Tabla 4.13: Datos operativos asociados al uso de condensación	106
Tabla 4.14: Datos operativos asociados al uso de adsorción	108
Tabla 4.15: Datos operativos asociados al uso de lavadores de gases húmedos ...	110
Tabla 4.16: Niveles de emisión logrados para la eliminación de HCN y NH ₃ de los gases residuales	112
Tabla 4.17: Datos operativos para la eliminación de HCN y NH ₃ de los gases residuales	112
Tabla 4.18: Niveles de emisión conseguidos después de la incineración de COV.	116

	<i>Págs.</i>
Tabla 4.19: Datos operativos para la incineración de COV	116
Tabla 4.20: Datos operativos asociados al uso de la oxidación catalítica	118
Tabla 4.21: Niveles de emisión conseguidos después de la reducción de SO ₂	123
Tabla 4.22: Niveles de emisión conseguidos después del lavado y el reciclado de los cianuros	125
Tabla 4.23: Datos operativos para el lavado y el reciclado de los cianuros	125
Tabla 4.24: Niveles de emisión conseguidos asociados al LIS del equipo contaminado con cianuros	131
Tabla 4.25: Datos operativos para la limpieza del equipo contaminado con cianuros	131
Tabla 4.26: Ejemplos de plantas de SIC en cuanto a volúmenes de retención	135
Tabla 4.27: Plantilla para analizar los efectos debidos a las desviaciones de los procesos químicos o al funcionamiento de la planta	143
Tabla 6.1: Campos de aplicación principales para algunos pigmentos inorgánicos en Europa Occidental	173
Tabla 6.2: Ejemplos de pigmentos inorgánicos complejos	175
Tabla 6.3: Producción mundial estimada de pigmentos inorgánicos en 1995	177
Tabla 6.4: Tratamientos de gas residual para la producción de pigmentos inorgánicos	183
Tabla 6.5: Caudales principales de efluentes acuosos para la producción de pigmentos de óxido de cromo (III)	198
Tabla 6.6: Fuentes de las aguas residuales procedentes de la producción de pigmentos de sulfuro de cinc, litopón y sulfato de bario	205
Tabla 6.7: Consumo de energía en varias plantas que producen pigmentos SIC en Europa	206
Tabla 6.8: Niveles de concentración de contaminantes medidos en el gas residual después del tratamiento en varias plantas de Europa	207
Tabla 6.9: Técnicas empleadas para el tratamiento de las aguas residuales en varias plantas que producen pigmentos en Europa	209
Tabla 6.10: Niveles de concentración de contaminantes medidos en el agua residual después del tratamiento en varias plantas de Europa	211
Tabla 6.11: Cargas y concentraciones de contaminantes para la producción de pigmentos de óxido de hierro	211
Tabla 6.12: Cantidad media de aguas residuales tratadas en la producción de pigmentos de sulfuro de cinc, sulfato de bario y litopón	213
Tabla 6.13: Contaminantes que contiene el agua residual procedente de la producción de pigmentos de sulfuro de cinc, sulfato de bario y litopón	213

	<i>Págs.</i>
Tabla 6.14: Niveles de emisiones logrados después del pretratamiento y el tratamiento final de las aguas residuales con carga de metales pesados	224
Tabla 6.15: Niveles de emisión asociados a MTD 6.1.12	227
Tabla 6.16: Capacidad de producción de siloxanos sin elaborar (por ejemplo, PDMS) en Europa	251
Tabla 6.17: Concentraciones de metales tras la sedimentación	265
Tabla 6.18: Posible uso de subproductos procedentes de la producción de siliconas	265
Tabla 6.19: Aplicaciones principales de las SIC explosivas	290
Tabla 6.20: Capacidad de producción de azida de plomo, trinitrorresorcinato de plomo y picrato de plomo en Europa	291
Tabla 6.21: Materias primas y productos auxiliares químicos utilizados en la producción de azida de plomo (LA)	298
Tabla 6.22: Materias primas y productos auxiliares químicos utilizados en la producción de trinitrorresorcinato de plomo (LTNR)	298
Tabla 6.23: Materias primas y productos auxiliares químicos utilizados en la producción de picrato de plomo (LP)	299
Tabla 6.24: Eficiencia del pretratamiento de eliminación de plomo en la producción de azida de plomo y trinitrorresorcinato de plomo en una instalación española	301
Tabla 6.25: Concentración típica de contaminantes en las aguas residuales a su salida de la depuradora central	302
Tabla 6.26: Niveles de vertidos al agua anuales en la producción de SIC explosivas	302
Tabla 6.27: Valores de concentración de contaminantes en los vertidos al agua en la producción de SIC explosivas	303
Tabla 6.28: Cantidad considerada típica de residuos sólidos generados en una instalación española	303
Tabla 6.29: Eficiencia del sistema de pretratamiento de eliminación de plomo en una instalación española	305
Tabla 6.30: Especificaciones técnicas del evaporador	308
Tabla 6.31: Ejemplo de un balance de masas diario	308
Tabla 6.32: Especificaciones de producto típicas del cianuro líquido	319
Tabla 6.33: Emplazamientos en los que se produce cianuro sódico y cianuro de potasio en Europa	320
Tabla 6.34: Cantidad de materias primas necesarias para producir una tonelada de NaCN y una tonelada de KCN, respectivamente	328

Págs.

Tabla 6.35: Emisiones a la atmósfera procedentes de una planta de producción de cianuros con un funcionamiento correcto	330
Tabla 6.36: Niveles de descarga en una depuradora procedentes de una planta de producción de cianuros típica	333
Tabla 6.37: Niveles de emisión conseguidos después de la destrucción oxidativa de los cianuros	335
Tabla 6.38: Datos operativos para la destrucción de cianuros	336
Tabla 6.39: Niveles de emisión conseguidos después de la incineración de COV.	338
Tabla 6.40: Datos operativos para la incineración de COV	338
Tabla 6.41: Niveles de emisión conseguidos asociados a la limpieza del equipo contaminado con cianuros	340
Tabla 6.42: Datos operativos para la limpieza del equipo contaminado con cianuros	340
Tabla 6.43: Niveles de emisión logrados para la eliminación de HCN y NH ₃ de los gases residuales	342
Tabla 6.44: Datos operativos para la eliminación de HCN y NH ₃ de los gases residuales	342
Tabla 6.45: Niveles de emisión a la atmósfera asociados a la MTD para la producción de cianuros	351
Tabla 6.46: Niveles de descarga en el agua a la entrada de la depuradora asociados a la MTD para la producción de cianuros	352
Tabla 8.1: Hitos para el trabajo sobre el BREF de especialidades químicas inorgánicas	364

Resumen Ejecutivo

El BREF (documento de referencia) sobre las MTD (mejores técnicas disponibles) para la producción de especialidades químicas inorgánicas (BREF SIC) presenta el resultado de las labores realizadas por un grupo de expertos europeos, dentro de un grupo de trabajo técnico, a fin de determinar las mejores técnicas disponibles para la producción de dichas sustancias. Dicho documento refleja el intercambio de información efectuado con arreglo a lo dispuesto en el artículo 16, apartado 2, de la Directiva 96/61/CE del Consejo (Directiva IPPC).

En el presente resumen ejecutivo se describen los principales resultados, se resumen las conclusiones más importantes sobre las MTD y se presentan los correspondientes niveles de consumo y emisiones. Conviene leerlo junto con el Prefacio, donde se explican los objetivos del presente documento, su forma de uso y las condiciones jurídicas.

Se puede leer y comprender de forma independiente pero, dado que se trata de un resumen, no es tan completo como el documento íntegro. Por tal motivo, el resumen no pretende sustituir al documento íntegro en la toma de decisiones referente a las MTD.

Ámbito del documento

El objetivo del presente documento, junto con otros BREF de la serie, es abordar las actividades descritas en la Sección 4 de la Directiva IPPC, «Industria química». Dentro de la industria química, el documento se centra en el sector de las «especialidades químicas inorgánicas» (SIC).

Dado que el término SIC no está definido en la Directiva IPPC y carece de una acepción comúnmente aceptada en la industria, el documento propone una serie de criterios para distinguir entre SIC y química inorgánica de gran volumen de producción. Además, se ha utilizado la siguiente definición de trabajo de SIC a efectos del presente documento:

«Por especialidad química inorgánica (SIC) se entiende una sustancia inorgánica obtenida industrialmente por transformación química, en general en cantidades relativamente pequeñas, según ciertas especificaciones (relativas, por ejemplo, a la pureza) seleccionadas para satisfacer las necesidades particulares de un usuario o sector industrial concreto (por ejemplo, el farmacéutico).»

Dada la gran variedad de SIC, de las materias primas y de los procesos de producción asociados, el BREF se centra en un número limitado de familias (ilustrativas) de SIC y expresa conclusiones sobre las MTD aplicables a cada una de estas familias específicas. A partir de las familias ilustrativas y de las conclusiones sobre las MTD específicas correspondientes, el documento extrae conclusiones sobre las MTD genéricas (o comunes) que se consideran aplicables a la producción de una serie más amplia de SIC. Las familias ilustrativas estudiadas en el presente documento son las especialidades de pigmentos inorgánicos, compuestos de fósforo, siliconas, explosivos inorgánicos y cianuros. El intercambio de información sobre las sales inorgánicas solubles de níquel no pudo llevarse a un nivel que permitiera la extracción de conclusiones sobre las MTD, por lo que se decidió suprimir del BREF la sección de las sales inorgánicas de níquel.

El sector de las SIC

Dada la ausencia de una definición común de SIC, no pueden darse cifras precisas sobre las ventas en dicho sector. No obstante, se considera que en Europa el sector de las SIC representa entre el 10 y el 20% de las ventas totales de la industria química y esta tendencia al alza continúa ligeramente.

El sector de las SIC se caracteriza por su diversidad y por su fragmentación. En Europa se fabrican miles de SIC distintas y se emplea una enorme gama de materias primas y de procesos de producción. Las instalaciones de SIC suelen ser de tamaño pequeño o medio, y funcionan de forma continua o bien por lotes. Algunas instalaciones de SIC producen solo un tipo de estas sustancias, mientras que otras son polivalentes y pueden producir muchas SIC diferentes. Existen empresas de cualquier tamaño (desde muy grandes a muy pequeñas) que producen SIC en instalaciones independientes o que forman parte de un complejo industrial mayor.

La producción en Europa está en general muy automatizada e informatizada, aunque hay excepciones, como la producción de explosivos y de pigmentos. El sector de las SIC es muy competitivo y de naturaleza confidencial, ya que las empresas tienden a cubrir mercados especializados y a centrarse en su ventaja competitiva. La competencia se basa generalmente en la calidad, más que en el precio.

Principales problemas medioambientales

Podría pensarse en la liberación de cualquier sustancia a cualquier medio como consecuencia del inmenso número de sustancias químicas producidas. A pesar de esto, las cuestiones medioambientales comunes del sector de las SIC en su

conjunto comprenden la emisión de partículas a la atmósfera (principalmente polvo y metales pesados), las aguas residuales con elevados valores de DQO, metales pesados o sales y el consumo de energía y de agua. Entre la enorme variedad de sustancias que se pueden producir y manipular (y también emitir) en las instalaciones de SIC se encuentran también compuestos muy nocivos, con propiedades tóxicas o carcinogénicas (por ejemplo, cianuros, cadmio, plomo, cromo (VI), arsénico). Además, entre estas sustancias figuran los explosivos. Por tanto, la salud y la seguridad pueden ser un aspecto crucial en la producción de SIC. Sin embargo, solo algunos de estos aspectos son importantes para cada una de instalaciones de SIC, tal y como se puede comprobar en las familias representativas examinadas en este documento. La calidad de los productos finales y la pureza de las materias primas son factores destacados que influyen en el impacto medioambiental del sector de las SIC.

Técnicas comúnmente aplicadas y niveles de consumo y de emisión

Aunque los procesos de producción de SIC son extremadamente variados y, a veces, muy complejos (por ejemplo, en el caso de las siliconas), normalmente se componen de una combinación de actividades (o fases del proceso) y equipos más sencillos. Pueden citarse como actividades de este tipo la disolución de materias primas, la mezcla, la síntesis, la reacción o la calcinación, el lavado, el secado, la molienda o trituración (por vía húmeda o seca), el tamizado, la condensación, la destilación, la evaporación, la filtración, la hidrólisis, la extracción, la compactación, la granulación y la aglomeración. Estas fases del proceso pueden agruparse en cinco etapas generales del proceso que forman las actividades centrales de un proceso de producción de SIC: el suministro, la manipulación y la preparación de las materias primas y auxiliares; la síntesis/reacción/calcinación; la separación y la purificación de los productos; el almacenamiento y la manipulación de los productos, y la reducción de las emisiones. El BREF describe brevemente estas actividades y las etapas generales del proceso, y destaca los aspectos medioambientales asociados. El documento describe también brevemente el equipo y la infraestructura del proceso que se utilizan generalmente en el sector de las SIC, así como las características de su sistema de suministro y gestión de energía.

Es difícil presentar unos niveles genéricos de consumo y emisión aplicables al conjunto del sector de las SIC, ya que dichos niveles son específicos de cada proceso de producción y en el documento sólo se examinan unos cuantos procesos representativos de SIC. Por ello, el BREF presenta, en su lugar, una lista de posibles fuentes de emisión y componentes con la que puede evaluarse el proceso de producción de cualquier SIC.

Técnicas comunes que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD

Las técnicas genéricas que se han tenido en cuenta, para determinar las MTD para todo el sector de las SIC, se presentan generalmente tomando como base el enfoque genérico a fin de comprender el proceso de producción de una SIC. Cada técnica se presenta siguiendo el mismo esquema para facilitar su evaluación y, en la medida de lo posible, para permitir su comparación con otras técnicas.

La mayoría de las técnicas comunes también se utilizan en otros sectores de la industria química y se describen, generalmente de forma más detallada, en otros documentos BREF (especialmente en el BREF Sistemas de tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico (CWW)).

Mejores técnicas disponibles (MTD) genéricas

El presente documento presenta las mejores técnicas disponibles a dos niveles: MTD genéricas válidas para el conjunto del sector de las SIC y MTD específicas válidas para las familias representativas de las SIC seleccionadas. Por tanto, las MTD para la producción de una especialidad química inorgánica perteneciente a una de las familias de SIC representativas son una combinación de elementos de las MTD genéricas y de las MTD específicas que se encuentran en el documento. Para la producción de una SIC que no pertenece a ninguna de estas familias representativas sólo son aplicables los elementos genéricos.

Además de las MTD recogidas en el documento, las MTD de una instalación de SIC también pueden contener elementos de otros documentos de IPPC, como los BREF sobre las emisiones generadas por el almacenamiento (ESB) y sobre los sistemas de tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico (CWW).

Respecto al BREF CWW, merece la pena señalar lo siguiente:

- El BREF SIC estudia más a fondo la aplicación de algunas de las técnicas señaladas en el BREF CWW, en relación con la producción de especialidades químicas inorgánicas.
- A fin de limitar la necesidad de que el lector consulte el BREF CWW, en este documento se describen brevemente las técnicas que se utilizan tanto en el sector de las SIC como en otros sectores de la industria química. Sin embargo, para conseguir una información más detallada, el lector deberá consultar el BREF CWW.

A continuación se resumen las principales conclusiones alcanzadas respecto a las MTD genéricas.

Suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas y auxiliares

Constituye una MTD reducir la cantidad de materiales de envasado eliminados mediante, por ejemplo, el reciclado de materiales de envasado «duros» y « blandos», salvo que no sea posible por cuestiones de seguridad o de peligro.

Síntesis/reacción/calcinación

Constituye una MTD reducir las emisiones y la cantidad de residuos generados aplicando una o varias de las siguientes medidas: uso de materias primas de elevada pureza, mejora de la eficacia del reactor, mejora de los sistemas de catálisis.

En los procesos discontinuos, constituye una MTD optimizar los rendimientos, disminuir las emisiones y reducir los residuos secuenciando la adición de reactivos. También constituye una MTD, en caso de procesos discontinuos, minimizar las operaciones de limpieza optimizando las secuencias de adición de materias primas y auxiliares.

Manipulación y almacenamiento de los productos

Constituye una MTD reducir la cantidad de residuos generados, por ejemplo, utilizando contenedores o bidones retornables para el transporte de los productos.

Reducción de las emisiones de gases residuales

El documento presenta conclusiones sobre las MTD y los niveles de emisión correspondientes para la reducción de los niveles de HCN, NH₃, HCl y partículas. Por ejemplo, con respecto a las partículas constituye una MTD minimizar las emisiones totales del polvo presente en los gases de escape y conseguir niveles de emisión dentro del 1 – 10 mg/Nm³ utilizando las técnicas descritas en el BREF. El extremo inferior del intervalo puede alcanzarse utilizando filtros de tela en combinación con otras técnicas de reducción. Sin embargo, el intervalo puede ser más elevado dependiendo de las características del gas portador y de las partículas. No siempre es posible utilizar filtros de tela como, por ejemplo, cuando hay que reducir la presencia de otros contaminantes, además del polvo, o cuando los gases de escape están húmedos. En la medida de lo posible, las partículas recuperadas o retiradas se vuelven a reciclar en la producción. El medio de lavado se recicla siempre que sea posible.

Gestión de las aguas residuales y reducción de los vertidos al agua

El tratamiento de las aguas residuales en el sector de las SIC sigue, al menos, tres estrategias diferentes:

- Pretratamiento dentro de las instalaciones de SIC y uno o varios tratamientos finales en una depuradora central dentro de un emplazamiento más amplio en el que se encuentra la instalación de SIC;
- Pretratamiento y uno o varios tratamientos finales en una depuradora dentro de la instalación de SIC;
- Pretratamiento dentro de la instalación de SIC y uno o varios tratamientos finales en una depuradora municipal.

Las tres estrategias son MTD cuando se aplican de forma adecuada a la situación real de las aguas residuales.

No se han extraído conclusiones sobre las MTD genéricas aplicables a la reducción de la presencia de metales pesados en las aguas residuales. Sin embargo, sí se han deducido conclusiones sobre MTD específicas en relación con la reducción de la presencia de metales pesados de aguas residuales de tres de las cinco familias representativas de SIC estudiadas en el documento, a saber, los pigmentos inorgánicos, las siliconas y los explosivos inorgánicos. Puede consultarse el BREF CWW para ampliar la información sobre la reducción de los metales pesados presentes en el agua residual de la producción de sustancias no incluidas en las familias representativas de este documento.

Como medida general, constituye una MTD clasificar los flujos de aguas residuales contaminadas en función de su carga de contaminantes. Las aguas residuales inorgánicas, sin componentes orgánicos importantes, se separan de las aguas residuales orgánicas y se llevan a depuradoras especiales.

Este documento también presenta conclusiones sobre las MTD para la recogida y el tratamiento del agua de lluvia.

Infraestructura

Constituye una MTD minimizar las emisiones difusas de polvo procedentes en particular del almacenamiento y la manipulación de los materiales o productos, aplicando una o varias de las técnicas siguientes: almacenamiento de los materiales en sistemas cerrados, utilización de zonas cubiertas protegidas de la lluvia y del viento, disposición del equipo de producción en recintos total o parcialmente cerrados, diseño del equipo con campanas y conductos para capturar las emisiones difusas de polvo y reducirlas, realización periódica de operaciones de limpieza. Constituye una MTD reducir las emisiones gaseosas y líquidas fugitivas.

vas aplicando una o varias de las siguientes medidas: disposición de programas de detección y reparación periódicas de fugas, funcionamiento del equipo a presión ligeramente por debajo de la atmosférica, sustitución de las conexiones con bridas mediante conexiones soldadas, utilización de bombas sin juntas y válvulas de fuelle, uso de sistemas de juntas de elevadas prestaciones, realización periódica de operaciones de limpieza.

En caso de instalaciones nuevas, constituye una MTD el uso de un sistema informatizado de control del funcionamiento de la instalación. Sin embargo, esto no es aplicable cuando, por cuestiones de seguridad, no se permita el funcionamiento automático (por ejemplo, en la producción de SIC explosivas).

En el caso de instalaciones en que puedan formarse compuestos peligrosos sólidos en las tuberías, máquinas y recipientes, constituye una MTD disponer de una sistema cerrado de lavado y aclarado.

Energía

Constituye una MTD reducir el consumo de energía optimizando el diseño, la construcción y el funcionamiento de la instalación, por ejemplo utilizando tecnología de mínimos (pinch), salvo que sea imposible por cuestiones de seguridad.

Técnicas transfronterizas

Cuando se manipulan sustancias que suponen un posible riesgo de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, constituye una MTD minimizar la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas mediante el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de instalaciones de forma que se reduzcan al mínimo los escapes de material. Este documento presenta la lista específica de técnicas que se consideran MTD.

Es una MTD tener un elevado nivel de educación y formación continua del personal. Aquí se incluye el tener personal con una educación básica sólida en el campo de la ingeniería y operaciones químicas, la formación continua del personal de las instalaciones sobre el trabajo, la evaluación y el registro con periodicidad de las características del personal, y la formación periódica del personal sobre la forma de responder a las situaciones de emergencia, sobre salud y seguridad en el trabajo, y sobre la normativa relativa a la seguridad de los productos y del transporte.

Constituye una MTD aplicar los principios de un eventual código industrial. Esto incluye lo siguiente: aplicación de normas muy estrictas en los aspectos de la producción de SIC relacionados con la seguridad, el medio ambiente y la calidad o la realización de actividades como auditorías, certificación y formación del personal de la instalación.

MTD es efectuar una evaluación estructurada de la seguridad en régimen de funcionamiento normal y tener en cuenta los efectos que se deban a desviaciones en el proceso químico y a desviaciones en el funcionamiento de la instalación. A fin de garantizar que se puede controlar un proceso de forma adecuada, constituye una MTD aplicar una o varias de las técnicas siguientes: medidas de organización, técnicas de ingeniería de control, sistemas para detener las reacciones, refrigeración de emergencia, construcción resistente a la presión, sistemas para aliviar la presión.

Son diversas las técnicas de gestión medioambiental que quedan determinadas como MTD. El ámbito y la naturaleza del sistema de gestión medioambiental (SGA) estarán relacionados por lo general con la naturaleza, la escala y la complejidad de la instalación, así como con el tipo de impactos medioambientales que pueda tener. Constituye una MTD poner en práctica un SGA que incorpore, de forma adecuada a las circunstancias concretas, características como la definición de una política medioambiental, procedimientos de planificación, establecimiento y aplicación, comprobación de las características y toma de medidas correctivas, examen del sistema de gestión y del procedimiento de auditoría y su validación por un organismo acreditado de certificación o por un verificador externo del SGA.

Familias representativas de especialidades químicas inorgánicas

Especialidades de pigmentos inorgánicos

Información general y procesos y técnicas aplicados

La información incluida en este documento se centra en los pigmentos inorgánicos que son especialidades producidas industrialmente por procesos químicos (como los pigmentos de óxido de hierro, los pigmentos inorgánicos complejos, el sulfuro de cinc, el sulfato de bario y los pigmentos de litopones). Hay otros pigmentos inorgánicos (que no son especialidades), como los pigmentos de negro de humo y de dióxido de titanio, que se incluyen en el ámbito del BREF sobre química inorgánica de gran volumen de producción- sólidos y otros productos (BREF LVIC-S). En Europa los pigmentos inorgánicos, que son especialidades, se producen en instalaciones de tamaño pequeño a grande. Estas instalaciones funcionan de modo continuo o por lotes. La producción se localiza principalmente en Alemania, Italia y España. La producción de pigmentos se considera un sector industrial desarrollado en el que se prevén pocos cambios.

Aunque se han desarrollado muchos procesos de producción para fabricar la amplísima variedad de pigmentos inorgánicos, la producción puede desglosarse

en dos procesos principales: síntesis de los pigmentos, seguida de la elaboración de los mismos. La síntesis de pigmentos se lleva a cabo utilizando un proceso de precipitación por vía húmeda o un proceso de calcinación por vía seca, cada uno de los cuales tiene un efecto medioambiental diferente. El proceso por vía húmeda requiere gran cantidad de agua y genera grandes cantidades de aguas residuales, mientras que el proceso de calcinación por vía seca exige menos agua pero más energía y provoca más emisiones de gases de escape. La elaboración de los pigmentos incluye el lavado, secado, calcinación, molienda o trituración, filtración o cribado y operaciones de secado. La elaboración de los pigmentos provoca emisiones a la atmósfera y al agua. Una cuestión preocupante es la emisión de partículas con metales pesados a la atmósfera.

Niveles de consumo/emisiones y técnicas consideradas para determinar las MTD

Este BREF presenta los niveles de consumo y de emisión de una muestra de instalaciones europeas productoras de pigmentos. Entre las técnicas consideradas para determinar las MTD se incluyen el uso de materias primas no cancerígenas, la reducción de los fluoruros mediante el lavado con cal, el uso de agua destilada procedente del sistema de evaporación o concentración para lavar los pigmentos, la eliminación de cromo de las aguas residuales, el reciclado de los lodos de precipitación en la propia producción, el tratamiento biológico de las aguas residuales con carga de nitratos, el pretratamiento y el tratamiento final de las aguas residuales con carga de metales pesados.

Mejores técnicas disponibles

En algunos casos la diversidad de procesos de producción y de materias primas utilizados hace que las conclusiones sobre las MTD se puedan aplicar únicamente a determinados pigmentos o procesos. Más abajo se presentan ejemplos de MTD que tienen una aplicabilidad mayor (por ejemplo, en relación con las partículas, los gases ácidos y las aguas residuales).

Constituye una MTD capturar el polvo de las zonas de trabajo y llevarlo a su lugar de reducción. El polvo reducido se recicla posteriormente en la propia producción. También constituye una MTD efectuar periódicamente operaciones de limpieza de las zonas de trabajo.

Es una MTD reducir al mínimo la emisión de gases ácidos y fluoruros utilizando, por ejemplo, técnicas de inyección de sorbentes.

Constituye una MTD reducir al mínimo la emisión total de polvo procedente de las actividades efectuadas en la instalación y conseguir unos niveles de emisión de 1 – 10 mg/Nm³ utilizando técnicas como los ciclones, los filtros de tela, los

lavadores o los precipitadores electrostáticos. La parte inferior del intervalo puede alcanzarse utilizando filtros de tela en combinación con otras técnicas de reducción. No siempre es posible utilizar filtros de tela como, por ejemplo, cuando hay que reducir la presencia de otros contaminantes, además del polvo, o cuando los gases de escape están húmedos.

Respecto a las aguas residuales, es una MTD tratar (previamente) estas aguas contaminadas con Cr (VI) para alcanzar una concentración de Cr (VI) < 0,1 mg/l mediante amortiguación de flujo y reducción del Cr(VI) a Cr(III), por ejemplo utilizando sulfito o sulfato de hierro (II). También es una MTD tratar previamente el agua residual cargada de metales pesados antes de verterla a las aguas receptoras mediante una combinación de las técnicas indicadas en este documento. Los residuos de filtración recuperados de la depuración de las aguas residuales pueden reciclarse de nuevo en la producción.

Compuestos de fósforo

Información general y procesos y técnicas aplicados

Los compuestos de fósforo estudiados en este documento son el tricloruro de fósforo (PCl_3), el cloruro de fosforilo (POCl_3) y el pentacloruro de fósforo (PCl_5). Las tres sustancias son muy tóxicas. En Europa son producidas por seis empresas en siete lugares. Los principales mercados de los compuestos de fósforo son la agricultura y la fabricación de productos ignífugos. La producción se efectúa en instalaciones polivalentes y de funcionamiento continuo.

Las producciones de PCl_3 , POCl_3 y PCl_5 están muy relacionadas entre sí, ya que el PCl_3 es el material de partida para la producción de los otros dos compuestos. El PCl_3 se produce en Europa utilizando el proceso de reacción gas-líquido o bien el de fase gaseosa. Las materias primas para producir el PCl_3 son el fósforo elemental y el cloro.

Niveles de consumo/emisiones y técnicas consideradas para determinar las MTD

Los aspectos medioambientales más preocupantes de la producción de compuestos de fósforo son las emisiones atmosféricas de HCl y de óxido de fósforo, así como el vertido al agua de cloruros y compuestos de fósforo. Entre las técnicas que deben considerarse para determinar las MTD figuran el uso de agua condensada caliente para fundir el fósforo elemental y mantenerlo en forma líquida, el uso de sistemas diferentes para proteger el fósforo elemental, el uso de fósforo elemental con pocas impurezas orgánicas e inorgánicas, el uso de sistemas de lavado para reducir la presencia de compuestos de fósforo en los gases residuales y medidas de almacenamiento.

Mejores técnicas disponibles

Las MTD con los compuestos de fósforo se refieren principalmente a la minimización de los residuos, el ahorro de energía, la prevención de accidentes, el rendimiento de la producción y la reducción al mínimo de las emisiones de cloruros y de fósforo al medio ambiente. Más abajo se recogen algunos ejemplos.

Constituye una MTD reducir el consumo de energía necesario para fundir el fósforo elemental blanco o amarillo sólido (materia prima) utilizando agua condensada caliente procedente de otras partes del proceso.

Es una MTD reducir al mínimo el riesgo de fuego protegiendo el fósforo elemental con un medio inerte hasta la fase de reacción.

Constituye una MTD reducir las emisiones de HCl a la atmósfera procedentes de la producción de compuestos de fósforo y conseguir unos niveles de emisión de 3 – 15 mg/Nm³ mediante el lavado alcalino. Para reducir al mínimo las emisiones en todas las condiciones de la producción, los caudales a través del sistema lavador y la concentración de álcali en el medio de lavado deben ser suficientemente elevados.

Es una MTD minimizar los vertidos de fósforo y cloro a las aguas receptoras, tratando los efluentes de agua en una depuradora de aguas residuales dotada de tratamiento biológico y alcanzar unos niveles de vertido de fósforo a las aguas receptoras de 0,5 – 2 kg/t de fósforo elemental y unos niveles de vertido de cloro a las aguas receptoras de 5 – 10 kg/t de fósforo elemental.

Respecto a los residuos, es una MTD conseguir unos niveles de emisión de restos de la destilación de residuos procedentes de la producción de PCl₃ de 4 – 8 kg/t de fósforo elemental e incinerar los restos de la destilación.

Siliconas

Información general y procesos y técnicas aplicados

Las siliconas son una variedad especial de polímeros. Se distinguen de los polímeros normales en que el eje de su estructura no contiene carbono, sino que está formado por una cadena de átomos de silicio y de oxígeno alternos. Se encuentran en el mercado varios miles de productos distintos de silicona y en un mismo lugar de producción se suelen fabricar más de 1.000 de estos productos. Este documento se refiere a los más importantes, como el polidimetilsiloxano (PDMS). Entre las aplicaciones de las siliconas se incluyen los aislantes eléctricos, lubricantes, elastómeros, revestimientos, aditivos de lacas, pinturas y productos cosméticos. En Europa hay cuatro empresas que producen siliconas, y todas ellas trabajan en modo continuo.

El PDMS se produce mediante un proceso que tiene las siguientes fases: síntesis de cloruro de metilo, trituración de silicio elemental, síntesis directa (síntesis de Müller-Rochow), destilación e hidrólisis/condensación. Las principales materias primas son silicio elemental, HCl y metanol.

Niveles de consumo/emisiones y técnicas consideradas para determinar las MTD

Las principales cuestiones medioambientales son las emisiones atmosféricas de polvo, cloruros y NO_x, así como los vertidos de cobre y cinc a las aguas receptoras. Entre las técnicas consideradas para determinar las MTD figuran las medidas de almacenamiento del silicio elemental, la metodología de mínimos para optimizar el consumo de energía, un sistema de eliminación del polvo por vía seca para el almacenamiento, manipulación y trituración del silicio elemental, diferentes formas de recuperación del cloruro de metilo, tratamiento térmico de los gases de escape que contienen hidrocarburos ligeros y compuestos clorados, tratamiento de las aguas residuales, reutilización/recuperación de agua y de HCl, prevención de accidentes.

Mejores técnicas disponibles

Las MTD sobre la producción de siliconas se refieren principalmente a la optimización de la eficiencia de la reacción química, la minimización de los materiales utilizados, la prevención de accidentes, la reducción al mínimo de los residuos, el uso eficiente de la energía y la reducción de las emisiones atmosféricas y al agua. A continuación se presentan algunos ejemplos.

Constituye una MTD minimizar las emisiones difusas de polvo procedentes del almacenamiento y la manipulación de silicio elemental, aplicando las medidas indicadas en este documento. Constituye una MTD reducir las emisiones canalizadas de polvo procedentes de la trituración, almacenamiento y manipulación del silicio elemental, y conseguir unos niveles de emisión de 5 – 20 mg/Nm³ (media anual) utilizando, por ejemplo, filtros de tela y reciclando el polvo separado en la propia producción.

Para conseguir una eficiencia máxima de la reacción química en la síntesis directa, constituye una MTD utilizar, como materia prima, silicio elemental con un tamaño de partícula < 1 mm.

En relación con la prevención de accidentes, es una MTD reducir al mínimo las fuentes de energía de ignición procedentes de la trituración y de la transferencia de silicio elemental, así como minimizar las fuentes de explosiones derivadas de la trituración y del transporte de silicio elemental, manteniendo el contenido de oxígeno y/o de polvo de silicio elemental en la atmósfera del equipo a un nivel seguro, por debajo del límite inferior de explosividad.

Constituye una MTD reducir el consumo de energía reciclando la energía producida en la síntesis directa.

En relación con el tratamiento de aguas residuales, es una MTD minimizar los vertidos de cobre y cinc al agua pretratando los efluentes de agua procedentes de la producción de PDMS, mediante precipitación o floculación en condiciones alcalinas, seguida de sedimentación y filtración. También es una MTD reducir la DBO/DQO del agua que sale del pretratamiento aplicando una etapa de tratamiento biológico.

SIC explosivas

Información general y procesos y técnicas aplicados

Los explosivos inorgánicos estudiados en este documento son la azida de plomo, el trinitro-resorcinato de plomo y el picrato de plomo, que son importantes en Europa desde el punto de vista industrial y económico. Estas sustancias se clasifican como «explosivos primarios», cuya función principal consiste en iniciar un «explosivo secundario» (por ejemplo, en dinamitas). Pueden citarse otros usos como infladores de bolsas neumáticas o pretensores de cinturones de seguridad. Los explosivos inorgánicos se producen por lotes.

Las materias primas utilizadas son nitrato de plomo y azida de sodio para la producción de azida de plomo, nitrato de plomo y trinitro-resorcina para la producción de trinitro-resorcinato de plomo, y nitrato de plomo y picrato de sodio para la producción de picrato de plomo. Las SIC explosivas se producen mediante una reacción de precipitación. A continuación, el producto resultante se purifica y se deseca.

Niveles de consumo/emisiones y técnicas consideradas para determinar las MTD

Las principales cuestiones medioambientales relacionadas con la producción de explosivos inorgánicos son los vertidos al agua de plomo, nitratos, sulfatos, DQO y sólidos en suspensión. Entre las técnicas consideradas para determinar las MTD se encuentran la eliminación del plomo de las aguas residuales por precipitación con ácido sulfúrico o carbonato de sodio, la eliminación de los restos de materiales explosivos que contienen plomo presentes en las aguas residuales mediante una fase de neutralización y medidas de protección del suelo.

Mejores técnicas disponibles

Este documento presenta las MTD en ámbitos como la prevención de accidentes, la minimización de residuos y la reducción de vertidos de plomo al agua. A continuación se presentan algunos ejemplos de MTD.

Para evitar que se produzca un «efecto dominó» en caso de explosión, constituye una MTD separar los edificios de producción y almacenamiento dentro del emplazamiento. También es una MTD reducir el riesgo de explosiones de origen eléctrico almacenando las SIC explosivas en edificios provistos de sistemas de seguridad y protección eléctrica.

Entre las MTD relativas a las aguas residuales se cuentan la recogida y tratamiento de las aguas de proceso utilizadas, la eliminación de los restos de impurezas explosivas presentes en las aguas residuales, la reducción de las impurezas orgánicas de estas aguas utilizando carbón activo. También es una MTD reciclar las aguas residuales en el propio proceso de producción, cuando esté justificado por la escala de la producción o la proporción entre el coste de la energía y el coste del agua. Finalmente, constituye una MTD enviar las aguas residuales a una depuradora central para su tratamiento. Si la depuradora central no puede hacer un tratamiento de desnitrificación (y de nitrificación en caso necesario), es una MTD tratar posteriormente las aguas residuales en una depuradora biológica (en el propio emplazamiento o fuera de él, por ejemplo en una depuradora municipal) con desnitrificación (y nitrificación en caso necesario).

Cianuros

Información general y procesos y técnicas aplicados

Este documento se centra en las sustancias hidrosolubles como cianuro de sodio (NaCN) y cianuro de potasio (KCN). Las demás sales inorgánicas de cianuro no se estudian debido a su escaso volumen de producción. Los cianuros se utilizan en Europa principalmente en la industria de la síntesis química, así como en galvanoplastia y en el endurecimiento de metales. El NaCN y el KCN se producen en menos de una decena de emplazamientos en Europa, en instalaciones de tamaño medio y con un modo de funcionamiento continuo.

Este documento se refiere a la producción de NaCN y KCN mediante el proceso de solución en agua, que consiste en dos fases principales para la producción de una solución de cianuros (es decir, neutralización seguida de filtración) y otras fases posteriores para la producción de cianuros en estado sólido (es decir, secado, compactación, granulación, separación de los polvos finos, tamizado o aglomeración). Las materias primas son HCN y NaOH o KOH.

Niveles de consumo/emisiones y técnicas consideradas para determinar las MTD

Las emisiones procedentes de la producción de cianuros consisten principalmente en HCN y NH3 que pasan a la atmósfera y en cianuros que pasan a las aguas receptoras. Entre las técnicas consideradas para determinar las MTD figuran la

destrucción de cianuros de los gases residuales y aguas residuales utilizando peróxido de hidrógeno, el tratamiento térmico de los gases de escape que contienen COV, el sistema de limpieza in situ del equipo contaminado con cianuro, el uso de envases retornables para el transporte de cianuros sólidos, el uso de un sistema informatizado de control del funcionamiento de la instalación, la aplicación del Código Internacional de Gestión del Cianuro, las medidas de almacenamiento de los cianuros, el uso de materias primas con bajo contenido de metales pesados y el elevado nivel de educación y formación continua del personal.

Mejores técnicas disponibles

Este documento presenta MTD sobre producción de residuos, minimización de materias primas y sobre la reducción de NO_x, HCN, NH₃ y COV. También presenta los niveles de emisiones de dichos contaminantes correspondientes a las MTD.

Respecto a los vertidos de cianuros al agua, este documento concluye que una MTD es minimizarlos utilizando técnicas de oxidación de los cianuros. El uso de hipoclorito también se considera una MTD cuando el caudal de efluente de cianuro está libre de materia orgánica y no queda hipoclorito libre en el efluente tras la reacción de oxidación. También se indican en este documento los niveles de las emisiones correspondientes a las MTD.

Se presentan asimismo varias MTD para la prevención de la contaminación del suelo. Otras conclusiones sobre MTD se refieren al consumo de agua y de energía, al almacenamiento y envasado de los productos, al funcionamiento de la instalación y a la formación del personal.

Técnicas emergentes

A lo largo del trabajo se han señalado varias técnicas emergentes, a saber: la descontaminación de gases de escape y aguas residuales mediante intercambiadores iónicos inorgánicos químicamente modificados y carbón activo, la utilización de residuos industriales como combustible, la filtración del aire para la reducción de la presencia de compuestos volátiles de cromo, el desarrollo y aplicación de electrodos cerámicos avanzados para la eliminación electroquímica de los cianuros en las aguas residuales.

Observaciones finales

El intercambio de información sobre MTD para la producción de SIC se efectuó en un plazo aproximado de dos años, de octubre de 2003 a noviembre de 2005.

El intercambio de información fue difícil porque la recogida de datos reales sobre el consumo y las emisiones, correspondientes a las distintas instalaciones de SIC, se vio obstaculizada por cuestiones de confidencialidad. No obstante, esto no impidió la elaboración de unas conclusiones sobre MTD genéricas que fueran válidas para todo el sector de las SIC, así como las conclusiones sobre MTD de las distintas familias de SIC estudiadas en este documento. Se alcanzó un consenso sobre las MTD y no se registraron opiniones divergentes.

Mediante sus programas de IDT, la Comunidad Europea lanza y apoya una serie de proyectos sobre tecnologías limpias, tecnologías emergentes de tratamiento y reciclado de efluentes y estrategias de gestión. Estos proyectos podrían aportar una contribución útil para futuras revisiones del BREF. Por lo tanto, se ruega a los lectores que informen a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) de todos los resultados de las investigaciones relativas al ámbito de aplicación de este BREF (véase también el prefacio).

Prefacio

1. Carácter del presente documento

Salvo que se indique lo contrario, todas las referencias a la «Directiva» en el presente documento harán referencia a la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). Al igual que la Directiva se aplica sin perjuicio de las disposiciones comunitarias en materia de salud y seguridad en el lugar de trabajo, se hará lo mismo en este documento.

Este documento forma parte de una serie de documentos que presentan los resultados de un intercambio de información entre los Estados miembros de la UE y las industrias involucradas en las mejores técnicas disponibles (MTD), la supervisión asociada y el desarrollo al respecto. Ha sido publicado por la Comisión Europea en virtud del artículo 16(2) de la Directiva y, por consiguiente, se debe tener en consideración de conformidad con el Anexo IV de la Directiva a la hora de determinar las «mejores técnicas disponibles».

2. Obligaciones legales de la Directiva IPPC y definición de MTD

A fin de que el lector pueda comprender el contexto legal en el que se ha redactado el presente documento, en el prefacio se describen algunas de las disposiciones más importantes de la Directiva IPPC, incluyendo la definición del término «mejores técnicas disponibles» (MTD). Esta descripción está inevitablemente incompleta y se facilita únicamente a título informativo. Carece de validez legal y no altera o menoscaba en modo alguno las disposiciones reales de la Directiva.

El objeto de la Directiva es la prevención y el control integrados de la contaminación derivada de las actividades que se enumeran en el Anexo I y que permiten un mayor nivel de protección global del medio ambiente. Aunque el ámbito legal de la Directiva hace referencia a la protección medioambiental, en su aplicación también deben tenerse en cuenta otros objetivos comunitarios tales como la competitividad de la industria dentro de la Comunidad que contribuye de este modo a un desarrollo sostenible.

En concreto, en esta Directiva se establece un sistema de permisos para determinadas categorías de instalaciones industriales que exige que, tanto las empresas como las autoridades reguladoras, adopten una visión global e integrada del

potencial de contaminación y consumo de la instalación. El objetivo general de este enfoque integrado ha de ser mejorar la gestión y el control de los procesos industriales, a fin de garantizar un nivel elevado de protección medioambiental. El aspecto clave de este enfoque es el principio general señalado en el artículo 3 en el que las empresas deberían adoptar todas las medidas adecuadas para prevenir la contaminación, en concreto, mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que les permitan mejorar su comportamiento con respecto al medioambiente.

El término «mejores técnicas disponibles» se define en el apartado 11 del artículo 2 de la Directiva como «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 apartado 11 del artículo 2 explica con más detalle esta definición:

Con el término «técnicas» se incluyen tanto la tecnología empleada como la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada.

Las técnicas «disponibles» son aquellas 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 .

Por «mejores» se entienden las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Además, el Anexo IV de la Directiva contiene una lista de «aspectos que deben tenerse en cuenta con carácter general o en un supuesto particular cuando se determinen las mejores técnicas disponibles teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención». Estas consideraciones incluyen la información publicada por la Comisión en virtud del apartado 16 del artículo 2.

Es necesario que las autoridades competentes responsables de la concesión de permisos tengan en consideración los principios generales establecidos en el artículo 3 a la hora de determinar las condiciones de dicho permiso. Estas condiciones deben incluir los valores límite de emisión, que, dado el caso, se complementarán y sustituirán por parámetros o medidas técnicas equivalentes. Con arreglo al punto 4 del artículo 9 de la Directiva, los valores límite de emisión, los parámetros y las medidas técnicas equivalentes se basarán, sin perjuicio del

cumplimiento de las normativas de calidad medioambiental, en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica y tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones del permiso establecerán disposiciones relativas a la reducción de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizarán un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto.

De conformidad con el artículo 11 de la Directiva, los Estados miembros tienen la obligación de garantizar que las autoridades competentes cumplan o sean informadas sobre la evolución de las mejores técnicas disponibles.

3. Objetivo del presente documento

El apartado 2 del artículo 16 de la Directiva exige que la Comisión organice «un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles, las prescripciones de control relacionadas y su evolución. La Comisión publicará cada tres años los resultados de los intercambios de información».

En el considerando 25 de la Directiva se señala la finalidad del intercambio de información que estipula que «los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles contribuirán a reducir los desequilibrios tecnológicos a nivel de la Comunidad, ayudarán a la divulgación mundial de los valores límite establecidos y de las técnicas empleadas en la Comunidad y, asimismo, ayudarán a los Estados miembros para la aplicación eficaz de la presente Directiva».

La Comisión (DG de Medio Ambiente) ha creado un foro de intercambio de información (IEF), para contribuir al cumplimiento de las disposiciones del apartado 2 del artículo 16 y, en este marco, se han creado varios grupos de trabajo técnico. Tanto en el foro como en los grupos de trabajo participan representantes de los Estados Miembros y del sector, de acuerdo con lo establecido en el apartado 2 del artículo 16.

El propósito de esta serie de documentos es reflejar con precisión el intercambio de información que se ha producido, de conformidad con las disposiciones del apartado 2 del artículo 16, y facilitar información de referencia que las autoridades competentes deberán tomar en consideración a la hora de determinar las condiciones de la concesión de permisos. Dado que estos documentos facilitan información relativa a las mejores técnicas disponibles, deberían considerarse herramientas valiosas para impulsar los resultados medioambientales.

4. Fuentes de información

Este documento es un resumen de la información obtenida de diversas fuentes que incluye, en concreto, los conocimientos técnicos de los grupos creados para ayudar a la Comisión en su trabajo y que ha sido verificada por los servicios de la Comisión. Se agradecen todas las contribuciones.

5. Cómo entender y utilizar este documento

La información facilitada en este documento tiene por objeto servir de punto de partida para establecer las MTD en casos concretos. A la hora de determinar las MTD y establecer las condiciones de permiso basadas en las MTD, se deberá tener siempre en cuenta el propósito general de lograr el mayor grado posible de protección del medio ambiente.

El resto de esta sección describe el tipo de información que se proporciona en cada sección del documento.

El Capítulo 1 proporciona información general sobre el sector industrial de Especialidades Químicas Inorgánicas (SIC).

El Capítulo 2 describe los procesos y técnicas más utilizados en el sector.

El Capítulo 3 proporciona información referente a los niveles actuales de emisión y consumo que reflejan la situación en instalaciones de SIC existentes en el momento de redacción del presente documento.

El Capítulo 4 describe de forma detallada la reducción de las emisiones y otras técnicas que se consideran relevantes para la determinación de condiciones de autorización basadas en las MTD. Para cada técnica, esta información incluye los niveles de consumo y emisión posibles para cada técnica, una aproximación de costes y los efectos cruzados asociados con la técnica, así como hasta qué punto puede aplicarse la técnica al rango de instalaciones que requieren autorizaciones de IPPC, por ejemplo las instalaciones nuevas, las existentes, las grandes o las pequeñas. No se incluyen aquellas técnicas que, por lo general, se consideran obsoletas.

El Capítulo 5 presenta las técnicas y, cuando es posible, los niveles asociados de consumo y emisión que se consideran MTD genéricos para el sector de las SIC en general.

El Capítulo 6 considera con todo detalle las familias ilustrativas de SIC que se han seleccionado para exemplificar la aplicación de MTD en el sector de las SIC.

El Capítulo 5 y las secciones de MTD del Capítulo 6 presentan las técnicas y niveles de consumo y emisión que se consideran compatibles con las MTD en un sentido general. El objetivo es ofrecer indicaciones generales, en relación con los niveles de emisión y consumo, que pueden considerarse como un punto de referencia apropiado para determinar las condiciones de autorización basadas en las MTD o para establecer las reglas generales con arreglo al apartado 8 del artículo 9. Sin embargo, debemos destacar que este documento no propone valores límite de emisión. La determinación de las condiciones de autorización adecuadas implicará la consideración de factores locales específicos de emplazamiento, las características técnicas de la instalación de que se trate, su ubicación geográfica y las condiciones medioambientales locales. En el caso de instalaciones ya existentes debe tenerse en cuenta asimismo la viabilidad económica y la técnica de su modernización. Incluso el objetivo de garantizar un nivel alto de protección para el medio ambiente implicaría normalmente juicios de compromiso entre diferentes tipos de impactos medioambientales que, con frecuencia, se verán influidos por consideraciones locales.

Aunque se intenta resolver alguna de estas cuestiones, no es posible ocuparse de todas ellas de forma detallada en este documento. Las técnicas y niveles presentados en el Capítulo 5 y en las secciones de MTD del Capítulo 6 no serán, por lo tanto, apropiados para todas las instalaciones. Por otra parte, la obligación de garantizar un nivel elevado de protección medioambiental, incluyendo la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza, implica que las condiciones de autorización no pueden establecerse sobre la base de consideraciones puramente locales. Por ello, es muy importante que las autoridades de autorización tengan en cuenta la información incluida en este documento.

Debido a los continuos cambios a los que se ven sometidas las MTD, este documento será revisado y actualizado convenientemente. Todos los comentarios y sugerencias deben dirigirse a la Oficina Europea de Prevención y el Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) en el Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS) a la siguiente dirección:

Edificio Expo, c/ Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, España

Teléfono: +34 95 4488 284

Fax: +34 95 4488 426

e-mail: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.int

Internet: <http://eippcb.jrc.es>

Ámbito de aplicación

La industria química es un sector industrial complejo con una cantidad y variedad enorme de productos fabricados. En todo el mundo se fabrican aproximadamente 70.000 compuestos químicos con una naturaleza química, vía de producción y uso diferentes [21, European IPPC Bureau, 2003].

A fin de implantar los BREF químicos, en virtud de la Directiva IPPC, se ha decidido dividir la industria química en orgánica e inorgánica y subdividir estos dos grandes grupos en sectores. A continuación se enumeran los cuatro documentos BREF que comprenden la producción de componentes químicos; las Especialidades Químicas Inorgánicas (SIC) es uno de ellos:

- Cloroalcali (CAK)
- Industria química inorgánica de gran volumen de producción - amoníaco, ácidos y abonos (LVIC-AAF)
- Industria química inorgánica de gran volumen de producción - sólidos y otros productos (LVIC-S)
- **Especialidades químicas inorgánicas (SIC).**

Junto con los otros tres BREF, este documento pretende cubrir las siguientes actividades principales que se describen en el Anexo I de la Directiva IPPC:

«La fabricación, a efectos de las categorías de actividades de la presente sección, designa la fabricación a escala industrial, mediante transformación química de los productos o grupos de productos mencionados en los puntos...

4.2. Instalaciones químicas para la fabricación de productos químicos inorgánicos de base como:

(a) gases y, en particular, el amoníaco, el cloro o el cloruro de hidrógeno, el flúor o fluoruro de hidrógeno, los óxidos de carbono, los compuestos del azufre, los óxidos del nitrógeno, el hidrógeno, el dióxido de azufre, el dicloruro de carbonilo

(b) ácidos y, en particular, el ácido crómico, el ácido fluorhídrico, el ácido fosfórico, el ácido nítrico, el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico, el ácido sulfúrico fumante, los ácidos sulfurados

(c) bases y, en particular, el hidróxido de amonio, el hidróxido potásico, el hidróxido sódico

(d) sales como el cloruro de amonio, el clorato potásico, el carbonato potásico (potasa), el carbonato sódico (sosa), los perboratos, el nitrato argéntico

(e) no metales, óxidos metálicos u otros compuestos inorgánicos como el carburo de calcio, el silicio, el carburo de silicio

- 4.3. Instalaciones químicas para la fabricación de fertilizantes a base de fósforo, de nitrógeno o de potasio (fertilizantes simples o compuestos)
- 4.4. Instalaciones químicas para la fabricación de productos de base fitofarmacéuticos y de biocidas
- 4.5. Instalaciones químicas que utilicen un procedimiento químico o biológico para la fabricación de medicamentos de base
- 4.6. Instalaciones químicas para la fabricación de explosivos.»

Definición de trabajo de «Especialidades químicas inorgánicas (SIC)»

El término «Especialidades químicas inorgánicas» no aparece en la Directiva IPPC y la Directiva no incluye ninguna definición de lo que significa «especialidades». Además, el término «especialidad» se usa ampliamente en la industria química con significados diferentes. No hay ninguna definición aceptada comúnmente para este término y prácticamente cada fabricante tiene la suya propia.

A pesar de esto, el término «especialidades» suele entenderse y utilizarse en la industria química para diferenciar estos productos de los productos químicos «básicos» o «de gran volumen».

Con la intención de definir el alcance del BREF SIC y para evitar la duplicación de la información con el BREF LVIC-S (el BREF con más probabilidades de solapamiento), se han considerado los siguientes criterios para diferenciar las sustancias SIC de las sustancias LVIC (propuestas por el Consejo Europeo de la Industria Química – Cefic):

Criterios	LVIC	SIC
Volumen de producción*	Normalmente alto	Normalmente bajo
Tamaño de la inversión para la construcción de una planta de producción	Muy elevada	Media
Descripción del producto	Fórmula	Formula + efecto, pureza, formulación
Diferenciación del producto de la competencia	No	Sí, las especialidades suelen venderse por su rendimiento
Aplicaciones	Normalmente un gran número de aplicaciones o aplicaciones con volúmenes muy elevados	Normalmente pocas aplicaciones o muy especializadas
Decisivo para la venta	Precio	Calidad/precio
Materias primas utilizadas	Normalmente un mineral	Normalmente un producto químico que debe volver a procesarse y refinarse
Objetivo de I+D	Mejorar la economía del proceso	Crear nuevas aplicaciones a medida
Integración de la producción	Vertical, suele producirse en el origen de la materia prima mineral	Suele producirse en un emplazamiento de LVIC como producción complementaria
¿Quién toma la decisión de compra?	El departamento de compras del cliente	El personal técnico/de producción del cliente

* UBA propuso un umbral indicativo de 100 kt/año

Cada especialidad química inorgánica del presente documento satisface varios de los criterios anteriores, pero no necesariamente todos.

A efectos del presente documento, se utiliza la definición siguiente de SIC:

«A efectos del BREF SIC, se entiende por Especialidad Química Inorgánica (SIC) una sustancia inorgánica obtenida industrialmente por transformación química, en general en cantidades relativamente pequeñas, según ciertas especificaciones (relativas, por ejemplo, a la pureza) seleccionadas para satisfacer las necesidades particulares de un usuario o sector industrial concreto (por ejemplo., el farmacéutico).»

Por norma general, se considera que el sector de SIC tiene las características siguientes:

- empresas de todos los tamaños fabrican sustancias SIC;
- las sustancias SIC se producen en instalaciones pequeñas y medianas;
- las sustancias SIC se producen en instalaciones independientes o en instalaciones que forman parte de un complejo industrial mayor (normalmente químico);
- una instalación SIC puede dedicarse a la fabricación de un sólo producto SIC o de varias sustancias SIC;
- para la fabricación de sustancias SIC se utilizan tanto operaciones continuas como operaciones por lotes;
- la confidencialidad es importante para las empresas que fabrican sustancias SIC;
- la fabricación de sustancias SIC requiere la purificación de los productos y un desarrollo avanzado para satisfacer los requisitos nuevos de los clientes.

Teniendo en cuenta la cantidad y la enorme variedad de sustancias SIC, las materias primas asociadas y los procesos de producción, se consideró que un enfoque adecuado sería centrarse, como punto de partida, en un número limitado de familias o grupos de sustancias SIC y sacar conclusiones sobre las MTD para cada una de estas familias. A partir de éstas, se han redactado conclusiones sobre las MTD genéricas o comunes, que pueden ser válidas para la fabricación de una gama más amplia de sustancias SIC no englobadas específicamente en las familias de sustancias SIC seleccionadas.

Para seleccionar las familias de sustancias, que se abordan en este documento, se adoptaron los criterios siguientes:

- la familia es importante desde el punto de vista industrial (volumen de producción relativamente grande o un número relativamente grande de fábricas),

- los procesos de fabricación para la familia tienen problemas medioambientales y se beneficiarían especialmente de un intercambio de información,
- puede obtenerse información sobre los procesos de fabricación con relativa facilidad, de forma que el trabajo del BREF SIC puede completarse en un plazo razonable.

Utilizando estos criterios se seleccionaron las seis familias siguientes:

- especialidades de pigmentos inorgánicos
- siliconas
- compuestos de fósforo (PCl_3 , POCl_3 , PCl_5)
- explosivos inorgánicos
- cianuros (NaCN, KCN)
- sales inorgánicas solubles de níquel (NiSO_4 , NiCl_2 , NiCO_3 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$).

Estructura del documento

Dado que el alcance de las especialidades químicas inorgánicas es tan amplio, este documento contiene una mezcla de información genérica/común e información específica/ilustrativa que se presenta en dos partes:

Parte A	Parte genérica/común Información general sobre el sector de las SIC. Fases comunes del proceso, sistemas de reducción, suministro energético, equipo e infraestructura del proceso válidos a grandes rasgos para todos los procesos de producción SIC o comunes para múltiples procesos de producción SIC. Se extraen conclusiones sobre MTD genéricas.	Capítulo 1 Capítulo 2 Capítulo 3 Capítulo 4 Capítulo 5
Parte B	Parte específica/ilustrativa Información específica sobre un número reducido de "familias SIC ilustrativas" seleccionadas para demostrar la aplicación de las MTD en el sector de las SIC. Estas familias ilustrativas se han seleccionado según los criterios expuestos anteriormente. Se extraen conclusiones sobre MTD específicas para cada familia. Las familias SIC ilustrativas son: <ul style="list-style-type: none">• especialidades de pigmentos inorgánicos• compuestos de fósforo• siliconas• explosivos inorgánicos• cianuros. El intercambio de información sobre sales inorgánicas solubles de níquel no permitió extraer conclusiones sobre las MTD específicas para esta familia. Por este motivo, se decidió suprimir la sección de sales inorgánicas solubles de níquel de este documento.	Capítulo 6 Sección 6.1 Sección 6.2 Sección 6.3 Sección 6.4 Sección 6.5

Según la introducción de las MTD del Capítulo 5, las MTD para la fabricación de una especialidad química inorgánica perteneciente a una de las familias SIC ilustrativas que se describen en este documento se refieren a la combinación de los elementos genéricos presentados en el Capítulo 5 y los elementos específicos que pueden encontrarse en la Sección 6.X.5 relevante (por ejemplo, la Sección 6.1.5 para especialidades de pigmentos inorgánicos, la Sección 6.2.5 para compuestos de fósforo, la Sección 6.3.5 para siliconas, la Sección 6.4.5 para explosivos inorgánicos y la Sección 6.5.5 para cianuros). Para la producción de una sustancia SIC que no pertenece a ninguna de las familias SIC representativas descritas en este documento, sólo son aplicables para la definición de MTD los elementos genéricos que se presentan en el Capítulo 5.

Los usuarios de este documento percibirán que, al pasar de la Parte A a la Parte B del documento, se facilita información más detallada y se pasa de información cualitativa a información cuantitativa. Una descripción detallada de las MTD y los niveles de consumo/emisión asociados sólo se presenta para las familias descritas en la Parte B, aunque la Parte A (en el Capítulo 5) ofrece MTD genéricas/comunes para el sector de las SIC y, en la medida de lo posible, los niveles de consumo y emisión asociados con las MTD.

En relación con las condiciones de autorización de una planta de fabricación de productos químicos perteneciente a una de las familias ilustrativas, la Parte B proporciona información específica sobre técnicas de producción, niveles de consumo y emisión, técnicas integradas en los procesos y técnicas de final de línea y MTD. En cuanto a la autorización de otros procesos SIC, la información de la Parte A proporciona una serie de herramientas que puede utilizarse para formular las condiciones de autorización.

Interrelación con otros BREF

Sería conveniente leer otros BREF de la serie junto con este documento para determinar las MTD para los procesos SIC. Los BREF relevantes incluyen «BREF horizontales» (que abarcan cuestiones comunes para varios sectores o subsectores industriales, como emisiones generadas por el almacenamiento) y «BREF verticales» (que abarcan un sector industrial específico, como grandes instalaciones de combustión). En el momento en que se redactó este documento, existían BREF sobre los temas siguientes que pueden ser pertinentes para el sector de las SIC:

- Sistemas de tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico [8, European IPPC Bureau, 2003]
- Emisiones generadas por el almacenamiento [31, European IPPC Bureau, 2000]

- Sistemas de refrigeración industrial [36, European IPPC Bureau, 2003]
- Monitorización de las emisiones [37, European IPPC Bureau, 2003]
- Efectos económicos y cruzados [32, European IPPC Bureau, 2004]
- Grandes instalaciones de combustión [34, European IPPC Bureau, 2004]
- Incineración de residuos [35, European IPPC Bureau, 2004]
- Tratamientos de residuos [29, Cefic, 2004].

Este documento pretende minimizar los solapamientos con BREF horizontales relevantes, pero puede cubrir temas horizontales con mayor detalle. Los BREF horizontales se citan en este documento para facilitar la comprensión y alertar a los usuarios de la existencia de información complementaria.

1. Información general

1.1. La industria química en Europa

[29, Cefic, 2004]

En 2002, la fabricación mundial de productos químicos se estimó en 1.841.000 millones de euros. Con 527.000 millones de euros en 2002, el área de la Europa de los 15 es la mayor zona de fabricación de productos químicos del mundo, seguida de EE.UU. y Asia (excluyendo Japón y China). Estas tres regiones juntas dan cuenta de casi tres cuartos de la producción mundial.

En 2002, los países de la Europa de los 15 eran los mayores exportadores e importadores del mundo de productos químicos y contabilizaban la mitad de las transacciones globales del sector. Las principales regiones comerciales son la Unión Europea, Asia y América del Norte.

Alemania es el mayor productor de productos químicos de Europa, seguida de Francia, Italia y el Reino Unido. Estos cuatro países juntos fabrican el 64% de los productos químicos de la Europa de los 15. Si a estos países añadimos Bélgica, España, los Países Bajos e Irlanda, la cuota alcanza casi el 93%.

En el período comprendido entre 1992 y 2002, la producción química (4,7%) creció más rápidamente que el consumo aparente (3,9%). El índice de crecimiento de las exportaciones (11,4%) superó el de las importaciones (10,1%); el excedente comercial se incrementó con el tiempo.

1.2. El sector de las SIC en Europa

Aunque no existe una definición común para la industria química en los diferentes países (por ejemplo, pueden incluirse o excluirse las fibras), la industria química europea puede dividirse en varios sectores, por ejemplo:

- petroquímicos
- productos orgánicos
- plásticos y caucho sintético
- gases industriales
- fertilizantes

- productos farmacéuticos
- productos químicos de consumo (por ejemplo, perfumes y cosméticos, jabones y detergentes)
- especialidades y productos químicos finos.

El sector de las especialidades químicas inorgánicas (SIC), tal y como se define para la finalidad de este documento (véase la Sección de ámbito de aplicación anterior), formaría parte del sector de especialidades y productos químicos finos (con implicaciones en el sector farmacéutico) que representó alrededor del 29% de las ventas totales de la industria química en Europa en 2002 [29, Cefic, 2004]. No obstante, se considera que en Europa el sector de las SIC representa entre el 10 y el 20% de las ventas totales de la industria química y las ventas están experimentando un ligero ascenso.

1.2.1. Producción y características del mercado

Las especialidades químicas inorgánicas se fabrican, por norma general, en volúmenes más pequeños (normalmente de unas pocas toneladas a 100 kilotoneladas anuales) y, según el producto, se venden con un margen de beneficios mayor que los productos químicos básicos o a granel. No obstante, es cierto que en las sustancias SIC con más tradición están desapareciendo los márgenes elevados. Las sustancias SIC suelen estar más orientadas al consumidor y no tan sujetas a demandas cíclicas.

La fabricación de SIC en Europa está muy automatizada y suele controlarse por ordenadores (aunque ésta no es necesariamente la situación en el caso de SIC explosivas y pigmentos).

Una sustancia SIC suele fabricarse en varias calidades y formas (por ejemplo polvo, gránulos, pasta, solución), según las necesidades del cliente.

La distribución geográfica de las instalaciones que fabrican SIC sigue la distribución general de la industria química europea. Alemania es el mayor fabricante de SIC, seguida de Francia, Italia y el Reino Unido. Esta situación puede variar significativamente cuando se considera un sector específico de la industria SIC. Por ejemplo, los pigmentos SIC se fabrican principalmente en Alemania, Italia y España.

Las sustancias SIC se venden a empresas. Éstas pueden ser empresas químicas o de otro tipo, y atienden a una gran variedad de mercados de usuarios finales tomando en consideración la especificación de pureza o la capacidad para ofrecer un efecto determinado. Los principales mercados de usuarios finales son el sector farmacéutico, la medicina, la cerámica, la electrónica, la fotografía, los revestimientos, la fabricación de chapas, las baterías, la protección de cosechas, las pinturas y las tintas.

1.2.2. Perfiles de las empresas

Los fabricantes de especialidades químicas orgánicas europeos varían en tamaño desde empresas muy pequeñas (< 10 trabajadores) hasta grandísimas multinacionales (> 10.000 trabajadores), y lo normal es que haya entre 60 y 250 trabajadores por instalación. Las grandes empresas saltaron al sector de las especialidades químicas cuando empezaron a reducirse los beneficios derivados de los productos químicos básicos debido a un aumento de la competencia y como una forma de generar mayores ingresos. Las grandes empresas químicas normalmente poseen sus propias subsidiarias dedicadas a la producción de SIC.

El sector de las SIC cubre una amplia gama de negocios; por una parte, negocios pequeños que procesan un sólo producto o pocos productos y, por otra, negocios que fabrican múltiples especialidades.

Las instalaciones SIC suelen ser instalaciones pequeñas o medianas que pueden formar parte de un complejo industrial más grande (normalmente químico) para beneficiarse de las materias primas y auxiliares producidas en ese emplazamiento, o bien pueden ser instalaciones autónomas e independientes. Según las sustancias fabricadas y la demanda del mercado, las especialidades pueden fabricarse por lotes (como los explosivos inorgánicos) o en modo continuo (como las siliconas y las sales de níquel).

Las instalaciones SIC pueden estar situadas cerca de refinerías de metal ya que los metales son materias primas importantes para la fabricación de SIC (por ejemplo, sales metálicas). Algunos procesos de fabricación SIC pueden incluso integrarse completamente en la planta de producción de metales.

Para las empresas SIC es importante el tamaño menor de cada uno de los mercados de especialidades químicas, la mayor importancia del servicio como criterio de compra, el tamaño máximo actualmente menor de las empresas, así como la mayor variedad de compañías especializadas. Esto es una consecuencia directa de la mayor variedad de productos y del área de aplicación de las especialidades en comparación con los productos químicos básicos [47, Dr Pflug, 2003].

1.2.3 Visión global del sector

Las empresas SIC normalmente se centran en el desarrollo de mercados especializados. Probablemente esta política presenta un mayor grado de riesgo empresarial ya que los altibajos externos pueden tener consecuencias más serias cuando la producción se concentra para dar servicio a un número limitado de clientes.

La visión global del sector de las SIC es pesimista. Las empresas de especialidades químicas han alcanzado niveles de endeudamiento elevados para finan-

ciar las adquisiciones hechas a precios de líder del mercado. Además, muchas especialidades han resultado tener márgenes similares a los de los productos básicos debido a mayor producción (por ejemplo, costes más altos en investigación y desarrollo, así como costes de laboratorio) y a costes de servicio.

Sin embargo, los recientes cambios en las estructuras operativas de las empresas y el enfoque en actividades principales deberían permitirles competir con fuerza en los mercados nacionales y globales. Se prevé que el comercio internacional crezca en cuanto a volumen y valor, y se espera que la situación de prosperidad creciente en el ámbito mundial genere una mayor demanda de sustancias SIC.

La presión para adaptarse a las demandas de los clientes es especialmente elevada para los fabricantes de SIC que sirven a industrias que fabrican productos con ciclos de vida cortos, como los sectores de la electrónica y las baterías.

En Europa occidental, se prevé que aumente la tendencia hacia el desarrollo de especialidades químicas para evitar la competencia directa de los fabricantes de productos químicos de países en vías de desarrollo. Se intentará ofrecer un mayor valor añadido a los mercados especializados pero, para salir adelante, las empresas que abastecen a los mercados especializados deberán gastar más en investigación y desarrollo (I+D) [46, Research and Markets, 2001].

1.2.4. Competencia

El sector de las SIC es muy competitivo y de naturaleza confidencial, ya que las empresas tienden a cubrir mercados especializados y a centrarse en sus ventas competitivas.

Hasta hace poco, la fortaleza de Asia era la fabricación a bajo coste de productos químicos a granel. Sin embargo, en los últimos años las empresas asiáticas (especialmente en China y la India) son cada vez más eficaces en la fabricación de especialidades complejas. Además, las empresas asiáticas están creciendo mucho más rápidamente que las europeas.

La competencia en el sector de las SIC se suele basar en la calidad y no en el precio (a excepción de la industria de pigmentos inorgánicos). Por lo tanto, hay una menor sensibilidad hacia los cambios en el valor de las monedas (por ejemplo, euros/dólares) y las exportaciones no suelen verse afectadas por dichos cambios.

Aunque los costes de mano de obra son un factor importante para el sector de las SIC, el equipo y la proximidad al cliente pueden ser incluso más importantes. Si tenemos en cuenta este último enunciado, podemos decir que las empre-

sas europeas no están en situación de desventaja en comparación con sus competidores asiáticos.

1.3. Cuestiones medioambientales clave del sector de las SIC

El sector de las SIC (véase la Sección 1.2) abarca un gran número de instalaciones con pocos factores en común que fabrican miles de productos químicos diferentes, de forma que cualquier sustancia podría concebirse como una emisión potencial a un medio (aire, agua, suelo).

A pesar de esta situación, es posible identificar algunas cuestiones medioambientales comunes de tipo general para el sector de las SIC:

- **emisión de partículas a la atmósfera** (principalmente polvo y polvo que contiene metales pesados),
- emisiones de NO_x,
- **aguas residuales con cargas elevadas de DQO, metales pesados o sales** (por ejemplo, cloruros, sulfatos, nitratos, carbonatos, sulfuros, hipocloritos),
- residuos sólidos que contienen metales pesados,
- vapores de sustancias líquidas volátiles,
- consumo de energía,
- consumo de agua.

Por norma general, las instalaciones SIC solo tienen algunos de estos problemas.

Entre la enorme variedad de sustancias que se pueden producir y manipular (y también emitir) en las instalaciones de SIC se incluyen también compuestos muy nocivos, con propiedades tóxicas o carcinogénicas (por ejemplo, cianuros, cadmio, plomo, cromo (VI), arsénico). Además, entre estas sustancias figuran los explosivos (véase la Sección 6.4). Por tanto, la salud y la seguridad pueden ser un aspecto crucial en la producción de SIC.

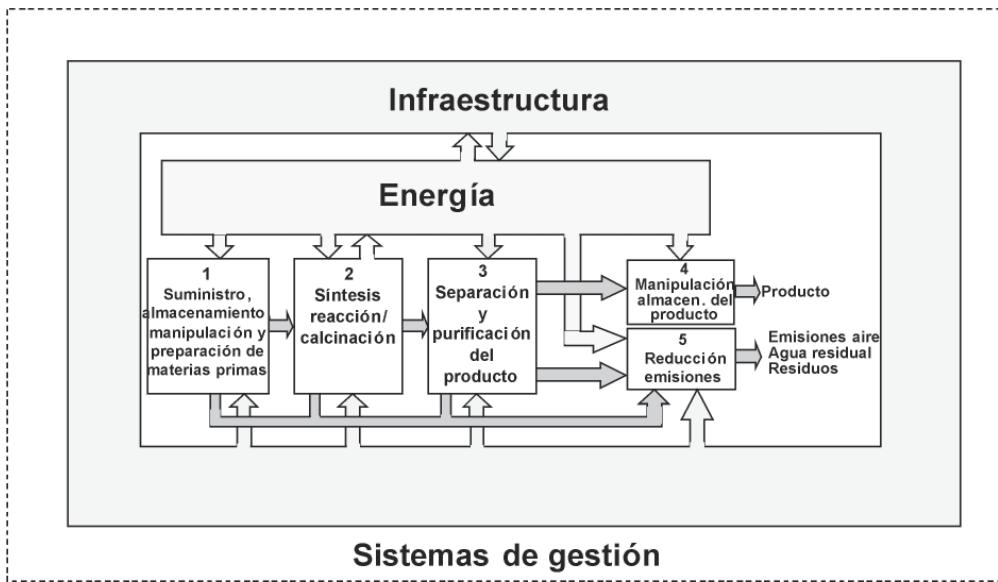
2. Procesos y técnicas aplicados

2.1. Características generales de un proceso de producción de SIC

Aunque los procesos de producción de SIC son extremadamente diversos y a veces muy complejos (por ejemplo, el caso de las siliconas), normalmente se componen de una combinación de actividades (o fases del proceso) y equipos más sencillos. Las actividades y equipos comunes se combinan y se modifican para crear el proceso químico de fabricación de la especialidad deseada. Algunas de las actividades comunes ya han sido reconocidas en la preparación de los BREF horizontales (por ejemplo, para sistemas de refrigeración, almacenamiento a granel, sistemas de tratamiento y gestión de aguas residuales y gases residuales).

La actividad central del proceso de fabricación de un producto químico es la conversión de las materias primas en los productos deseados utilizando las reacciones químicas y los cambios físicos necesarios. Esto suele requerir las cinco fases generales que se describen a continuación y que se muestran a modo de esquema en la Figura 2.1.

Figura 2.1. Vista esquemática de un proceso de fabricación de SIC



- **Suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas y auxiliares¹:** el suministro, el almacenamiento y la manipulación de materias primas y auxiliares, su preparación (por ejemplo, pesaje, mezcla) y la carga en los recipientes en los que tendrán lugar las reacciones químicas (por ejemplo, reactor, horno).
- **Síntesis, reacción, calcinación:** el núcleo de todo proceso mediante el que las materias primas se convierten en un producto crudo mediante una reacción química, con frecuencia, con ayuda de un catalizador.
- **Separación y purificación del producto:** el producto que se obtiene de la reacción se separa (en ocasiones en varias etapas) de otros componentes de la reacción (por ejemplo, materias primas que no han reaccionado, subproductos y catalizadores) y se purifica (en ocasiones en varias etapas) según las especificaciones.
- **Almacenamiento y manipulación de los productos:** el almacenamiento, embalaje y exportación de los productos acabados.
- **Reducción de las emisiones:** la recogida, reutilización, tratamiento y eliminación de gases, líquidos y sólidos residuales que contienen contaminantes que no se han eliminado mediante medidas integradas en el proceso.

Es importante destacar que en el sector de las SIC, la calidad y la pureza de las materias primas son factores clave que influyen en el impacto medioambiental de las sustancias fabricadas. En ocasiones existe la oportunidad de reutilizar o reciclar en el proceso de fabricación de SIC (o en otros procesos dentro del complejo industrial en el que se encuentra situada la instalación de SIC) los residuos generados en las etapas de «síntesis, reacción y calcinación» y «reducción de las emisiones». Esto se ejemplifica en la familia de sustancias SIC del Capítulo 6 de este documento (véase también la Figura 3.1).

Las cinco fases generales anteriores se complementan con:

- una **infraestructura** completa que interconecta las etapas del proceso (por ejemplo, sistemas de refrigeración, sistemas de aspiración, sistemas de seguridad e instalaciones),
- un sistema **energético** que produce vapor o energía eléctrica para utilizar en el proceso, y equipos de refrigeración (cuando se necesitan),
- un **sistema de gestión** que garantiza el control del proceso en todas las situaciones (por ejemplo, funcionamiento normal, emergencias). Esto puede considerarse como el software necesario para que funcione todo el hardware.

Puesto que este documento no proporciona una descripción global de todos los procesos SIC, es importante entender los principios genéricos de las etapas del

¹ La preparación puede incluir la purificación de la materia prima.

proceso, la infraestructura del emplazamiento y los sistemas energéticos y de gestión. Estos elementos fundamentales deberían permitir la comprensión básica de cualquier proceso de fabricación de SIC, su posible impacto medioambiental y las técnicas apropiadas para evitar y controlar las emisiones. Por lo tanto, las secciones siguientes de este capítulo describen, de forma general, las principales características de estos elementos fundamentales en relación con la fabricación de SIC. Puede encontrar descripciones más detalladas de los procesos y de los equipos químicos en un libro estándar como la Enciclopedia Ullmann de Química Industrial [1, Ullmann, 2001].

2.2. Fases comunes del proceso

La gran mayoría de procesos utilizados para producir sustancias SIC constan de la combinación de un número limitado de etapas del proceso (Tabla 2.1). Estas etapas del proceso se refieren tanto al tipo de reacción química que se utiliza para producir SIC como a la transferencia física de energía y materiales entre las seis combinaciones posibles de estado (es decir, gas-gas, gas-líquido, gas-sólido, líquido-líquido, líquido-sólido, sólido-sólido).

Tabla 2.1: Posible impacto medioambiental de las fases comunes del proceso de la fabricación de sustancias SIC

Etapa de proceso común	Ejemplo de sustancias SIC producidas					Posible impacto medioambiental					
	Pigmentos	Compuestos de fósforo	Siliconas	Explosivos	Cianuros	Sales de níquel	Consumo		Emisiones		
							Energía	Aqua	Aire	Aqua	Residuos
Disolución de las materias primas	X			X			X	X			X
Mezcla	X						X		X		
Síntesis/reacción	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Calcinación	X						X		X		
Lavado	X		X	X		X		X		X	X
Secado	X			X	X	X			X	X	
Molienda o trituración por vía seca	X						X		X		
Molienda por vía húmeda	X						X	X		X	
Tamizado					X		X		X		
Condensación	X	X					X		X	X	
Destilación	X	X					X		X	X	X
Evaporación						X	X			X	
Filtración				X	X						
Hidrólisis		X						X	X	X	
Extracción					X						
Compactación				X			X		X		
Granulación				X			X		X		
Aglomeración				X			X		X		

La Tabla 2.1 presenta el posible impacto medioambiental de las fases comunes del proceso de la fabricación de sustancias SIC.

Esta sección no presenta todas las etapas posibles del proceso de fabricación de sustancias SIC, sino sólo aquellas que se utilizan de una manera considerada «común» en el marco de elaboración de este documento.

2.2.1. Disolución de materias primas

Descripción

[1, Ullmann, 2001]

Según el proceso de fabricación utilizado para fabricar una sustancia SIC, puede que sea necesario poner las materias primas sólidas en disolución, sin modificarlas químicamente, para separar las partes que no son solubles y someterlas a un tratamiento ulterior (por ejemplo, para la fabricación de especialidades de pigmentos inorgánicos y SIC explosivas). Esto se realiza mediante la disolución, suspensión, dispersión, emulsión, etc. de los sólidos en un disolvente (normalmente líquidos a temperatura ambiente y presión atmosférica —por ejemplo, el agua en la fabricación de explosivos inorgánicos—). En la fabricación de sustancias SIC, el agua es el disolvente que se utiliza más frecuentemente.

Durante la disolución, el disolvente actúa sobre la sustancia que desea disolverse para incrementar su estado de distribución. La disolución se efectúa a una velocidad finita que depende del área de superficie específica de la sustancia que se desea disolver, su grado de cristalización, su velocidad de difusión en el disolvente y la temperatura. Con frecuencia una sustancia se considera ligeramente soluble si su velocidad de disolución es baja. La mayoría de los procesos de disolución son endotérmicos y se ven favorecidos por los incrementos de temperatura.

Problemas medioambientales

Energía: en la operación de disolución se puede utilizar energía en forma de calor o energía cinética.

Agua: en la fabricación de SIC, el principal problema medioambiental asociado con la disolución de materias primas es el consumo de agua dulce. El agua residual puede utilizarse en ocasiones como sustituto del agua dulce.

Residuos: en la disolución de materias primas pueden generarse residuos.

2.2.2. Mezcla

Descripción

[1, Ullmann, 2001]

Las operaciones de mezcla pueden clasificarse según el estado agregado del componente predominante (es decir, gaseoso, líquido, pasta, sólido/granular). En el caso de los líquidos, el proceso suele denominarse «agitación» y, en el caso de las pastas, suele conocerse como «amasado».

Las mezcladoras de sólidos funcionan moviendo el material de forma continua. En este proceso, las partículas adyacentes deben poder cambiar de lugar. Según la plasticidad de los polvos que se mezclan, esto puede conseguirse mediante diversos mecanismos y en diversas geometrías.

El gran número de mezcladoras en el mercado pueden clasificarse bajo varios encabezados:

- tambores giratorios
- mezcladoras de husillo
- agitadores de paletas
- agitadores neumáticos
- mezcladoras de tolva
- mezcladoras de alta velocidad.

La mezcla de componentes sólidos es una etapa importante del proceso en la producción de pigmentos SIC.

Problemas medioambientales

Atmósfera: la mezcla de materias finas sólidas (en polvo) puede provocar la emisión de polvo a la atmósfera. El equipo de mezcla puede estar total o parcialmente cerrado o bien pueden instalarse sistemas de captura de polvo encima del equipo de mezcla para minimizar las emisiones difusas. El polvo puede conducirse a través de un conducto hasta un sistema de reducción de emisiones (por ejemplo, un filtro de bolsa).

Energía: se utiliza para los equipos de las operaciones de mezcla (por ejemplo, motores).

Ruido: la mezcla implica el uso de equipos mecánicos que hacen ruido.

2.2.3. Síntesis/reacción

Descripción

La síntesis o reacción, es el núcleo del proceso de producción ya que es ahí donde se transforman las materias primas en un producto crudo mediante una reacción química (por ejemplo, la precipitación), normalmente con ayuda de un catalizador para incrementar la eficacia de la producción. La reacción tiene lugar en un reactor (véase la Sección 2.6.1 para la descripción de un reactor y los problemas medioambientales asociados). Para la fabricación de una sustancia SIC se necesita siempre una fase de síntesis/reacción o calcinación.

Problemas medioambientales

Atmósfera: las operaciones de síntesis/reacción pueden provocar emisiones a la atmósfera. Es posible que se produzcan emisiones de polvo o COV.

Agua: las operaciones de síntesis/reacción pueden generar aguas residuales.

Energía: la reacción puede requerir el uso de energía para calentar o refrigerar el reactor.

Recurso: suele necesitarse un catalizador para impulsar la reacción y conseguir una eficacia elevada.

Residuos: las operaciones de síntesis/reacción pueden generar residuos (por ejemplo, residuos de catalizadores, productos que no han reaccionado).

Seguridad: la seguridad puede ser un tema importante en la síntesis/reacción, especialmente cuando la operación implica el uso de compuestos peligrosos. Puede ser necesario aplicar medidas específicas para satisfacer los requisitos de la Directiva Seveso II (Directiva 96/82/CE).

2.2.4. Calcinación

Descripción

La calcinación es un proceso endotérmico que requiere calor para descomponer compuestos químicos. En la fabricación de algunas especialidades de pigmentos inorgánicos se emplea una etapa de calcinación (véase la Sección 6.1.2.1.2).

Los procesos de combustión implican la oxidación exotérmica o «combustión» del material alimentado. Los procesos de cocción emplean temperaturas elevadas y

atmósferas de horno controladas para conseguir las reacciones químicas deseadas en la carga del horno; las reacciones de cocción pueden ser endotérmicas o exotérmicas. Aunque existen muchas tecnologías de horno, la práctica industrial actual apuesta por el horno rotatorio y el reactor de lecho fluidificado para estas aplicaciones.

Un horno rotatorio es un reactor cilíndrico inclinado que mueve una carga constantemente. En un reactor de lecho fluidificado utilizado para fines de calcinación, se pasa un lecho inicialmente estacionario de partículas sólidas a un estado «fluidificado» mediante una corriente ascendente de gas tan pronto como el caudal volumétrico del fluido supera un determinado valor límite.

Problemas medioambientales

Atmosfera: en el proceso de calcinación pueden liberarse a la atmósfera algunos productos de la descomposición, por ejemplo, CO₂, SO_x, NO_x, COV, partículas (polvo). La calcinación de pigmentos libera polvo, que debe reducirse. Durante la calcinación de pigmentos de litopones se libera dióxido de azufre, que debe reducirse.

Energía: la calcinación requiere el consumo de energía.

2.2.5. Lavado

Descripción

El lavado suele ser la forma de eliminar los subproductos solubles (como sales), por ejemplo, de la fabricación de pigmentos SIC (véase la Sección 6.1.2.2), y se suele realizar después de la síntesis/reacción o la fase de calcinación. Para la producción de sustancias SIC, se suele emplear agua en el lavado (en ocasiones también pueden añadirse disolventes orgánicos para minimizar las impurezas orgánicas, como sucede en la fabricación de SIC explosivas —véase la Sección 6.4.2.5).

Problemas medioambientales

Agua: la cantidad de agua utilizada supone un problema. El agua residual suele tener cargas elevadas de subproductos (por ejemplo, sales).

2.2.6. Secado

Descripción

[1, Ullmann, 2001]

El secado requiere la separación de los líquidos volátiles y de los materiales sólidos mediante la vaporización del líquido y la eliminación del vapor. El líquido que debe eliminarse en la fabricación de SIC suele ser el agua, pero también puede ser un disolvente como el alcohol o la acetona o una mezcla de estos disolventes.

La vaporización de líquidos requiere un aporte de calor. El producto que debe secarse se conoce como «sólido húmedo» (por ejemplo, cristales de cianuro húmedos) o simplemente «sólido». La sustancia que aporta el calor necesario se denomina «agente de secado». Esta sustancia puede ser aire, un gas inerte o un vapor sobrecalentado. El calor también puede suministrarse mediante radiación, superficies calientes o microondas.

La gran variedad de tipos de secaderos se debe a los distintos comportamientos que exhiben los sólidos durante el secado, las necesidades concretas del producto y múltiples consideraciones económicas.

Los principales tipos de secaderos que se utilizan en el sector de las SIC son:

- secaderos por pulverización
- secaderos de lecho fluidificado
- secaderos rotatorios
- secadero de bandejas estáticas (secaderos de cámara). Puesto que la seguridad no permite el uso de secaderos por pulverización, de lecho fluidificado o rotatorios en la producción de SIC explosivas, se utilizan los secaderos de bandejas estáticas para esta operación (véase la Sección 6.4.2.6).

El secado puede provocar la aglomeración de partículas y por ello, en ocasiones, se necesita una operación de molienda posterior para obtener el tamaño de partícula fina requerido (por ejemplo, en la producción de especialidades de pigmentos inorgánicos o en la fabricación de sales inorgánicas solubles de níquel). El secado se utiliza mucho en la fabricación de sustancias SIC (por ejemplo, especialidades de pigmentos inorgánicos, SIC explosivas, cianuros, sales inorgánicas solubles de níquel).

Problemas medioambientales

Atmósfera: los procesos de secado son fuentes potenciales de emisiones de polvo y COV.

Energía: el suministro de calor implica el consumo de energía (electricidad o vapor).

Agua: el secado puede generar agua residual.

2.2.7. Operaciones de reducción de tamaño y separación

La reducción de tamaño, también conocida como pulverización, se define como la ruptura mecánica de los sólidos en partículas más pequeñas sin cambiar su estado de agregación. No incluye procesos como la atomización de líquidos o la separación de gas en burbujas. El objetivo principal de la reducción de tamaño en el sector de las SIC es la producción de una distribución específica del tamaño de la partícula o un área de superficie concreta.

El equipo de reducción del tamaño no puede funcionar sin dispositivos auxiliares, como:

- tolvas
- alimentadores
- equipo de control de la alimentación y transporte
- ventiladores
- tuberías
- clasificadores
- separadores de polvo.

Las secciones 2.2.7.1, 2.2.7.2, 2.2.7.3 presentan las principales operaciones de reducción del tamaño que se utilizan en la fabricación de sustancias SIC y el impacto medioambiental asociado.

2.2.7.1. MOLIENDA O TRITURACIÓN POR VÍA SECA

Descripción

La molienda o trituración por vía seca es el proceso de reducir los materiales a polvo fino o a partículas pequeñas en un molino apropiado sin la presencia de un líquido, mediante barras, bolas o cantos, o de forma autógena, por el propio material. La molienda o trituración por vía seca se utiliza cuando el proceso siguiente es una operación de secado o cuando la sustancia no tolera el agua u otros líquidos. En cuanto a la seguridad de los trabajadores, debe prestarse atención al riesgo de explosiones (explosión de polvo).

La molienda o trituración por vía seca se utiliza, por ejemplo, en la fabricación de algunas especialidades de pigmentos inorgánicos (véase la Sección 6.1.2 y la Figura 2.1).

Problemas medioambientales

Atmósfera: los procesos de molienda o trituración por vía seca son fuentes potenciales de emisiones de polvo. Es preciso reducir el polvo (en particular el polvo que contiene metales pesados) que se emite, por ejemplo, en la fabricación de pigmentos SIC (véase Figura 6.2).

Energía: consumo de electricidad para impulsar a los motores.

Ruido: la molienda o trituración por vía seca implica el uso de equipos mecánicos que hacen ruido.

Seguridad: la molienda o trituración por vía seca puede implicar riesgos de explosión (explosión de polvo, véase la Sección 6.3.4.16).

2.2.7.2. MOLIENDA POR VÍA HÚMEDA

Descripción

[1, Ullmann, 2001]

La molienda o trituración por vía húmeda se define como la pulverización (reducción a polvo fino o a partículas pequeñas de materiales) de los sólidos suspendidos en un fluido. Los principales motivos para utilizar esta técnica son:

- el material alimentado ya tiene la forma de suspensión.
- el producto se desea como suspensión.
- el material alimentado debe triturarse en partículas finas y tiene una tendencia hacia la aglomeración.
- el material es tóxico.

La molienda o trituración por vía húmeda combina la pulverización real de las partículas sólidas con la separación de las aglomeraciones y la dispersión de las partículas individuales. En algunas máquinas, la pulverización es el objetivo principal, mientras que en otras se persigue la desaglomeración.

Para la trituración por vía húmeda se utilizan dispositivos de pulverización, a excepción de trituradoras, molinos de percusión y molinos de chorro. Trabajan normalmente con suspensiones de viscosidad baja/moderada. Sin embargo, los molinos de rodillos y los molinos de rodillos de alta comprensión sólo pueden utilizarse con niveles de humedad del 20% o menos; aunque algunos molinos de rodillos están hechos para la molienda por vía húmeda. El molino cilíndrico, el bastidor de rodillos, el molino de bolas agitado, los molinos Perl y los

molinos de disco han sido diseñados especialmente para la molienda por vía húmeda.

La molienda o trituración por vía húmeda se utiliza, por ejemplo, en la fabricación de algunas especialidades de pigmentos inorgánicos (véase la Sección 6.1.2 y la Figura 2.1).

Problemas medioambientales

Energía: se utiliza para los equipos de las operaciones de molienda por vía húmeda (por ejemplo, motores).

Agua: el agua suele ser el fluido utilizado en la molienda por vía húmeda. Las operaciones de molienda por vía húmeda generan agua residual.

Ruido: la molienda por vía húmeda implica el uso de equipos mecánicos que hacen ruido.

2.2.7.3. TAMIZADO

Descripción

Esta operación implica pasar el material por las aperturas de un tamiz, de un tamaño estándar concreto, para reducir el tamaño de las partículas. Existen diferentes tipos de operaciones de tamizado:

- tamizado por gravedad
- tamizado mecánico
- tamizado por vacío
- clasificación por aire.

El tamizado se emplea, por ejemplo, en la fabricación de cianuros (véase la Sección 6.5.2.9).

Problemas medioambientales

Atmósfera: los procesos de tamizado son fuentes potenciales de emisiones de polvo.

Energía: se utiliza en las operaciones de tamizado para poner en marcha los equipos (por ejemplo, motores).

2.2.8. Condensación

Descripción

La condensación fraccionada permite separar los componentes de mezclas gaseosas en líquidos (o sólidos). El producto deseado puede ser gas residual o condensado. El proceso está vinculado a la temperatura, la presión parcial de las sustancias de condensación y su presión de vapor. Cuando en las sustancias de condensación hay material inerte, no es posible la recuperación del 100% de las sustancias de condensación, sea cual sea la temperatura. La condensación puede emplearse para separar los productos del agua residual o de los flujos de gas residual, y esto normalmente permite devolver materia prima valiosa o solvente al proceso de producción. La condensación de especies volátiles también se utiliza para minimizar la emisión de contaminantes a la atmósfera, pero puede exigir el uso de la condensación criogénica para conseguir emisiones más bajas.

Los procesos de condensación se utilizan, por ejemplo, en la fabricación de siliconas (véase la Sección 6.3.2.6) y compuestos de fósforo (véanse la sección 6.2.2.2, la Figura 6.10 y la Figura 6.11).

Problemas medioambientales

Atmósfera: pueden emitirse a la atmósfera componentes residuales no condensados.

Agua: si el gas residual es el producto, la condensación generará agua residual. En ocasiones se utiliza agua para la refrigeración.

Energía: las operaciones de condensación pueden requerir cantidades considerables de energía.

Residuos: el condensado residual puede ser un residuo.

2.2.9. Destilación

Descripción

La destilación es el método industrial más importante para la separación de líquidos mediante diferencias en sus puntos de ebullición. La destilación implica la evaporación parcial de una fase líquida seguida de la condensación del vapor. De esta forma, la mezcla inicial (material alimentado) se separa en dos fracciones con composiciones diferentes: un vapor condensado (el condensado o destilado) que se enriquece en los componentes más volátiles y una fase líquida rema-

nente (el destilando) exenta de volátiles. La destilación puede dividirse en subcategorías según:

- modo operativo (continuo o por lotes),
- presión operativa (vacío, atmosférica o a presión),
- número de etapas de destilación (una o varias),
- introducción de gases inertes,
- uso de compuestos adicionales para facilitar la separación (destilación azeotrópica y extractiva).

La destilación en una etapa sólo permite resolver una cantidad limitada de problemas de separación y no es adecuada para materiales cuyos componentes tengan temperaturas de ebullición similares. La destilación en varias etapas se emplea, por ejemplo, en la fabricación de siliconas (véase la Sección 6.3.2.6).

Incrementando el área de la superficie de contacto de las fases líquida y de vapor puede conseguirse una mayor eficacia. Las columnas de rectificación proporcionan una transferencia de masa intensiva mediante el contacto repetido a contracorriente de los flujos de vapor y líquido en múltiples etapas. Las columnas de rectificación tienen diseño de plancha o empaquetado y pueden incluir más de 100 etapas de destilación. La estructura interna proporciona una gran superficie de contacto para la transferencia de masa, que se regenera constantemente. El área de contacto para la transferencia de masa se maximiza asegurándose de que el relleno de columna está completamente húmedo. En la parte inferior de la columna de destilación se aplica calor para evaporar el material alimentado y en la parte superior se necesita energía de condensación. La energía de condensación suele transferirse al agua o al aire de refrigeración, y esto ofrece la oportunidad para recuperar energía.

Problemas medioambientales

Las columnas de destilación pueden contribuir a las emisiones de tres modos:

- permitiendo que queden impurezas en el producto,
- mediante la formación de polímeros en el alambique, debido a una temperatura excesiva,
- mediante una condensación inadecuada.

Atmósfera: los gases residuales de la destilación pueden contener material volátil en forma de vapor o gotículas/niebla arrastradas, aunque puede reducirse utilizando áreas de condensación adicionales. Las sustancias no-condensables (como el oxígeno, el nitrógeno, el dióxido de carbono, los orgánicos de bajo punto de ebullición) normalmente no se enfrian a su temperatura de condensación y salen del condensador. Los puntos de emisiones del proceso de destilación son nor-

malmente: el condensador, el acumulador, los receptáculos calientes, los eyectores de chorro de vapor, las bombas de vacío y las válvulas de despresurización. El volumen total de gases emitidos de una operación de destilación depende de las fugas de aire en la columna (se incrementan a menor presión y mayor tamaño), el volumen del gas portador inerte, los gases disueltos en el material alimentado, la eficacia y el funcionamiento del condensador u otro equipo de recuperación y las propiedades físicas de los constituyentes orgánicos.

Agua: según el punto de ebullición de los componentes, los residuos acuosos de la parte inferior o la condensación posterior superior pueden causar efluentes. Las descargas dependen de la eficacia del proceso de destilación y de las etapas adicionales para la separación de las fases (preferentemente condensación fraccionada del efluente superior y agotamiento de los residuos de la parte inferior).

Residuos: los residuos altamente concentrados de la parte inferior de los alambiques suelen incinerarse si no es posible la recuperación.

Energía: el aporte de calor necesario para evaporar la fase líquida y el aporte de frío necesario para condensar el vapor en la parte superior de la columna implican un consumo elevado de energía. Cuando se emplea un proceso de destilación por lotes, el suministro total de energía en la industrial podría minimizarse mediante la selección óptima de políticas de tiempo de reflujo.

2.2.10. Evaporación

Descripción

[1, Ullmann, 2001]

Las soluciones consistentes en un solvente y una sustancia sólida disuelta pueden someterse a una separación térmica sencilla vaporizando el solvente y posteriormente concentrando el sólido residual. Esto se consigue gracias a la baja presión de vapor de la mayoría de componentes sólidos. Este método juega un papel importante en la recuperación de muchos materiales comunes, como las sales (por ejemplo, sales inorgánicas de níquel) y similares. La evaporación también puede emplearse para la separación y la recuperación del solvente puro. También es posible el uso de la evaporación para concentrar emulsiones y suspensiones. Cuando el objetivo principal es recuperar el solvente se usa normalmente el término «vaporización»; mientras que cuando el objetivo es separar el sólido o incrementar su concentración, se usa el término «evaporación».

En el diseño de las plantas de evaporación, especialmente cuando se diseña y selecciona el equipo que se va a utilizar, merece la pena tener en cuenta una serie de puntos, en especial, el comportamiento operativo de los materiales que se van

a procesar, es decir, la tendencia a formar depósitos y ensuciar las superficies de calentamiento o el tiempo de residencia de los productos inestables térmicamente.

Los evaporadores sencillos de una etapa raramente se utilizan debido a su baja eficacia térmica. Su aplicación está limitada a sistemas de baja capacidad o a aquellos en los que el producto requiere tiempos de residencia de solución reducidos debido a la sensibilidad a la temperatura.

La evaporación en varias fases (o evaporación en cascada) es una forma eficaz de reducir el consumo de vapor. En este proceso se conectan diversas fases de evaporación de forma que los vapores generados en una fase sirvan como medio de calentamiento en la siguiente. Además, sólo es necesario condensar con un medio de refrigeración los vapores generados en la última fase, reduciendo de este modo el uso de agua para la refrigeración.

La evaporación del vapor por recompresión es una técnica termodinámica. Toda o una parte del flujo de vapor del solvente, que sale de la cámara de separación del vapor del evaporador, se comprime a una presión más alta y se condensa en la cámara de vapor del mismo evaporador. En muchos casos, así se consiguen resultados que sólo podrían obtenerse con sistemas de evaporador de entre tres y cinco etapas.

Problemas medioambientales

Atmósfera: la evaporación es una fuente potencial de emisiones a la atmósfera.

Agua: las operaciones de evaporación pueden generar residuos en forma de agua cuando los vapores se condensan.

Energía: el consumo de energía puede ser muy elevado en las operaciones de evaporación.

2.2.11. Separación sólido/líquido y sólido/gas

Descripción

Desde el punto de vista industrial, las separaciones de sólido/líquido y sólido/gas son importantes para el acabado del producto SIC y para minimizar las emisiones de partículas a la atmósfera. Las aplicaciones de acabado del producto incluyen la separación de catalizadores heterogéneos de un caudal de producto o la separación de productos sólidos, subproductos o productos intermedios.

Las principales técnicas de separación de sólido/gas son las siguientes:

- ciclones
- filtros de tela
- filtros cerámicos
- precipitadores electrostáticos (ESP)
- lavadores.

Las principales técnicas de separación de sólido/líquido son las siguientes:

- centrifugado
- filtración
- sedimentación y clarificación
- secado (véase la Sección 2.2.6).

La elección de una u otra técnica depende de:

- las características de las partículas y del caudal portador;
- factores del proceso, como la temperatura y la presión;
- el volumen del caudal portador y la concentración de partículas en el caudal que deben tratarse;
- qué caudal es el «producto» y qué caudal son los «residuos»;
- factores operativos, como el espacio y la altura libre;
- factores económicos (inversión y costes operativos).

Problemas medioambientales

Atmósfera: si el producto final no es gas, se liberan emisiones a la atmósfera cuando se utilizan las técnicas mencionadas anteriormente (por ejemplo, filtros de tela, ESP) para la separación de sólido/gas.

Residuos: normalmente es posible volver a utilizar los sólidos que se recogen con ayuda de dispositivos de separación, aunque se usen para aplicaciones que requieran una calidad inferior.

2.2.12. Hidrólisis

[1, Ullmann, 2001]

Descripción

La hidrólisis de compuestos suele dar como resultado la introducción de una función hidróxilo y normalmente se asocia con la eliminación de un grupo saliente X:



En el agua, la función está catalizada principalmente por los iones de H^+ y OH^- .

La hidróxilis es una etapa del proceso que se utiliza, por ejemplo, en la fabricación de siliconas (véase la Sección 6.3.2.7).

Problemas medioambientales

Atmósfera: la hidrólisis puede generar gases residuales (por ejemplo, en la fabricación de siliconas, véase la Sección 6.3.3.2).

Agua: en las operaciones de hidrólisis pueden generarse aguas residuales (por ejemplo, en la fabricación de siliconas, véase la Sección 6.3.3.3). La hidrólisis consume agua.

2.2.13. Extracción

Descripción

La extracción es el proceso de separación de líquido-líquido más importante que se emplea en la química industrial. Se utiliza especialmente cuando no pueden emplearse otros métodos de separación o cuando la destilación directa no resulta eficaz o es demasiado cara. Sus aplicaciones típicas incluyen:

- separación de componentes con puntos de ebullición similares;
- separación de highboilers de las soluciones acuosas;
- separación de mezclas con puntos de ebullición elevados;
- separación de compuestos sensibles a la temperatura;
- separación de mezclas azeotrópicas (por ejemplo, extracción de ácido acético de medios acuosos);
- separación de contaminantes para la minimización de las corrientes de agua residual.

Para extraer las sustancias deseadas de la solución, se añade un solvente de extracción, que es inmiscible en la solución. Durante el contacto (extracción) entre el caudal de alimentación y el solvente, las sustancias se transfieren de la solución inicial al solvente. Por norma general, la sustancia deseada se separa posteriormente del solvente mediante una operación de destilación y el solvente se recicla. En ocasiones, la acción selectiva del solvente se utiliza en combinación con la destilación (destilación extractiva o destilación azeotrópica). Como aparato de extracción se utilizan diversos tipos de mezcladoras, decantadores, extractores centrífugos y columnas.

La extracción se emplea, por ejemplo, en la fabricación de sales inorgánicas de níquel.

Problemas medioambientales

Agua: el agente de extracción (refinado) normalmente se recicla y sólo se genera una pequeña cantidad de agua líquida. Si se utiliza agua como solvente, posteriormente puede tratarse biológicamente tras haber separado los componentes residuales concentrados. Otros agentes de extracción deberán ser incinerados.

2.3. Almacenamiento y manipulación de materias primas y auxiliares y productos acabados

Pueden generarse emisiones del almacenamiento de materias primas y auxiliares, productos acabados y residuos durante las operaciones rutinarias, de eventos no planificados o como consecuencia de accidentes. Las sustancias utilizadas en el proceso de producción pueden almacenarse como gases, líquidos o sólidos y el almacenamiento puede ser, por ejemplo, en bolsas pequeñas, sacos, bidones, grandes recipientes para mercancías a granel (CRG), tanques u otros. Las sustancias sólidas pueden almacenarse incluso a granel en áreas de almacenamiento en las que se aplican medidas para prevenir emisiones difusas de polvo (por ejemplo, en la fabricación de siliconas), la concreción de materiales higroscópicos (por ejemplo, sulfato de hierro, sulfato de aluminio, sales de cloruro, cianuros) o para evitar reacciones químicas inesperadas debido a la superación de la masa crítica de una sustancia (por ejemplo, nitrato de amonio, óxido de hierro (II), carbón activo). También puede generar emisiones el transporte de materiales de/a los recipientes de almacenamiento.

Como parte del equipo del proceso de producción, el almacenamiento está sujeto a riesgos de sobrepresurización, fugas y fallos del equipo. En los almacenes e instalaciones en las que tiene lugar la manipulación de los materiales se llevan a cabo estudios de riesgo y de operabilidad (HAZard and OPerability o HAZOP) para facilitar una evaluación estructurada de casos de error y su mitigación. Los análisis de riesgos que utilizan la metodología HAZOP son habituales en la fabricación de SIC explosivas. El diseño detallado del almacenamiento depende de la naturaleza de la sustancia, la cantidad almacenada y la proximidad de receptores medioambientales. Los grandes centros de producción química integrados pueden registrar riesgos bajos de vertidos porque no tienen en cuenta la carga de recipientes de transferencia (contenedores para transporte por carretera o ferrocarril o barcos) y su transporte y descarga en destino. Sin embargo, en estos centros las sustancias químicas suelen bombarse a través de largas redes de tuberías y esto implica un riesgo de rotura en puntos remotos del recorrido de la tubería.

En relación con el almacenamiento en toda la industria, y especialmente en el sector de las SIC, se utilizan habitualmente muchas técnicas para evitar emisiones. En lugar de describirse repetidamente en muchos BREF diferentes, se

tratan principalmente en dos BREF, el BREF horizontal sobre «Emisiones del almacenamiento» [8, European IPPC Bureau, 2003] y el BREF horizontal sobre «Sistemas de tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico» [21, European IPPC Bureau, 2003], cuya lectura recomendamos.

2.4. Medidas integradas en los procesos para la prevención y reducción de las emisiones

[21, European IPPC Bureau, 2003]

La protección medioambiental avanzada está pasando progresivamente de métodos de final de línea a medidas integradas en el proceso o en la producción. Las medidas integradas en el proceso en las plantas nuevas y ya existentes suponen una ventaja importante para el medio ambiente. Son medidas que reducen o incluso evitan, la generación de residuos (incluyen, a grandes rasgos, gas residual, agua residual, residuos, calor, vibración y ruido), mediante la intervención en origen antes de que se conviertan en emisión (a la atmósfera, al agua o al suelo). Estas «mejoras del proceso» ayudan, con frecuencia, a reducir los costes derivados de otras medidas de tratamiento adicionales y, al mismo tiempo, mejoran la eficacia económica incrementando el rendimiento de la producción y/o reduciendo la entrada de materia prima. Los costes de eliminación y las limitaciones de los tratamientos de final de proceso pueden acelerar este cambio hacia medidas integradas en el proceso. Aunque la prevención de emisiones y la aplicación de medidas integradas en los procesos es cada vez más importante, las técnicas de final de línea seguirán contribuyendo fundamentalmente al control de las emisiones en el entorno, principalmente cuando no es posible aplicar medidas integradas en el proceso para la producción existente.

Una protección medioambiental adecuada, con medidas integradas en el proceso, utiliza todas las técnicas posibles (físicas, químicas, biológicas, de ingeniería) para la prevención, reducción y reciclado de residuos. Como ejemplos, podemos mencionar:

- nuevos procedimientos de síntesis,
- uso de materias primas y agentes de proceso más puros o incluso diferentes,
- uso de combustibles más puros o diferentes,
- optimización de las etapas del proceso,
- tecnología de planta, control del proceso y secuencias de reacción mejoradas,
- adaptaciones técnicas del proceso,
- uso mejorado de catalizadores y/o solventes,
- reciclado de auxiliares (por ejemplo, agua de lavado y enjuagado, gases inertes, solventes, catalizadores),
- reciclado de residuos inmediatamente durante el proceso,

- el uso de residuos como materia prima para otras producciones (integración del producto dentro o fuera de la instalación),
- uso de residuos para la generación de energía.

Obviamente, el desarrollo de procedimientos completamente nuevos para la síntesis en plantas SIC ya existentes seguirá siendo una excepción, principalmente por motivos económicos, y estará restringido a productos de elevado valor económico. En la práctica, la protección medioambiental integrada en la producción es la suma de muchas mejoras individuales, y quizás pequeñas, que irá avanzando constantemente a lo largo del tiempo.

2.5. Sistemas de reducción de las emisiones

2.5.1. Panorama general

[21, European IPPC Bureau, 2003] [18, European IPPC Bureau, 2004]

Los sistemas de reducción de las emisiones (sistemas de final de línea) son aquellos sistemas que permiten la recogida, reutilización, tratamiento y eliminación de gases, líquidos y sólidos residuales que contienen contaminantes que no se han eliminado mediante medidas integradas en el proceso (véase la Sección 2.4).

En relación con las aguas residuales, los sistemas de reducción utilizados en el sector de las SIC incluyen el pretratamiento o tratamiento final de las corrientes de agua residual separadas, así como el tratamiento central de las aguas residuales recogidas antes de verterlas en el agua receptora. Es posible que sea necesario realizar el pretratamiento de las corrientes de agua residual separados, para proteger la planta de tratamiento de aguas residuales (situada en la misma planta o fuera de la misma).

En relación con los gases residuales, los sistemas de reducción utilizados en el sector de las SIC se ocupan, por regla general, de la reducción de:

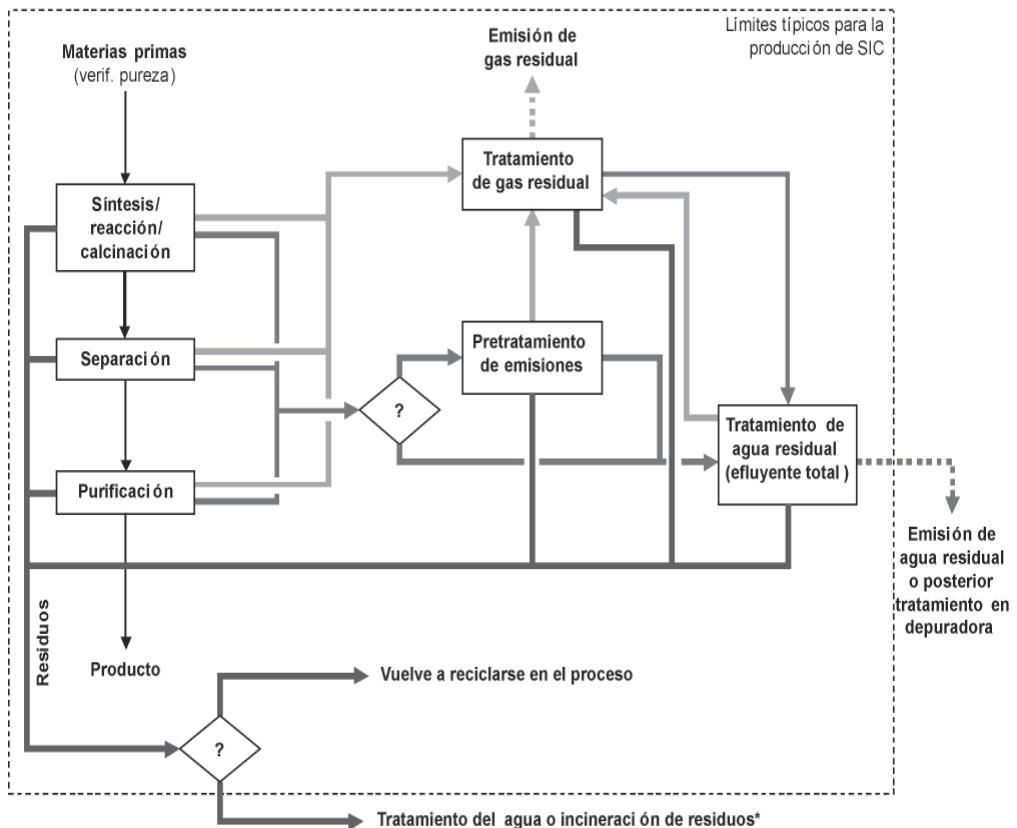
- partículas (por ejemplo, polvo, metales pesados),
- vapores de sustancias líquidas volátiles,
- contaminantes atmosféricos gaseosos.

El tratamiento del gas residual suele tener lugar en origen. No suele ser muy frecuente poder tratar simultáneamente en una unidad de tratamiento central caudales de gas residual con características diferentes. Un motivo importante es que las unidades de tratamiento normalmente están diseñadas para una composición de gas residual específica. Otro motivo importante es que es necesario prestar una atención especial a la liberación de componentes tóxicos y peligrosos y a su impacto sobre el entorno, así como a la seguridad de la planta. Dada

la toxicidad y las características peligrosas de muchas sustancias (por ejemplo, los cianuros o los compuestos de fósforo), la seguridad suele ser un asunto crucial en el sector de las SIC.

La Figura 2.2. proporciona un resumen de los sistemas de reducción en una instalación SIC típica y la vía habitual para los residuos y las corrientes de gas residual y agua residual.

Figura 2.2. Resumen de los sistemas de reducción utilizados en una instalación SIC típica



* Posible interconexión con BREFs de tratamientos e incineración de residuos

Los sistemas de reducción que suelen estar en la instalación SIC y que se dedican ocasionalmente a procesos concretos son:

- tratamientos de gas residual
- tratamientos de agua residual

Los sistemas de reducción que suelen estar ubicados en la instalación SIC pero que no están dedicados a procesos concretos, y que ocasionalmente se ubican fuera de la instalación son:

- plantas de tratamiento de agua residual, en ocasiones, plantas de tratamiento del agua residual municipales o plantas gestionadas por un municipio.

Los que suelen ubicarse fuera de la planta y sólo ocasionalmente en la instalación SIC son:

- plantas de incineración de residuos.

2.5.2. Técnicas de tratamiento de gases residuales

La elección de una técnica o de una secuencia determinada de técnicas de reducción de gases residuales depende de los contaminantes existentes en el flujo de gases residuales. Las paradas planificadas o de emergencia requieren sistemas de reserva.

En la Tabla 2.2 se incluye una selección de técnicas que se utilizan, o que es muy probable que se utilizan habitualmente en el sector de las SIC (Tabla 1.3 del BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Cabe señalar que, durante la elaboración de este documento, no hemos conseguido ninguna evidencia del uso de las siguientes técnicas identificadas en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003] (el motivo es que se ocupan principalmente de contaminantes orgánicos en el gas residual):

- filtración catalítica
- separación por membrana
- adsorción
- biofiltración
- biolavado
- biogoteo.

Tabla 2.2. Selección de técnicas para la reducción de emisiones de gases residuales en relación con el contaminante que se desea eliminar

Técnica						Olores
	Componentes volátiles o gaseosos orgánicos					
	Componentes volátiles o gaseosos inorgánicos					
	Partículas orgánicas					
	Partículas inorgánicas					
	Materia húmeda					
	Materia seca					
Tratamiento del polvo						
Separador (pre)	X	X	X	X		
Ciclón (pre)	X	X	X	X		
Lavadores húmedos de polvo (TF)	X	X	X	X	(X)	(X)
Precipitador electrostático (TF)	X	X	X	X		
Filtro de tela (incl. filtro cerámico) (TF)	X		X	X		
Filtro antipolvo de dos etapas (pul)	X		X	X		
Filtro absoluto (HEPA) (pul)	X		X	X		
HEAF (pul)			X			
Filtro nebulizador (pre, pul)			X		(X)	
Tratamiento de gases						
Condensador (pre)					(X)	X
Criocondensación (pre, TF)					(X)	X
Lavador de gases húmedo (agua) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X
Lavador de gases húmedo (alcalino) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X
Lavador de gases húmedo (oxidación alcalina) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)		X
Lavador de gases húmedo (ácido) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X
Oxidación térmica (TF)				X	X	X
Oxidación catalítica (TF)					X	X
Quemado por antorcha*					X	X
(TF)						
Tratamiento del gas de combustión						
Inyección alcalina por vía seca (TF)					X	
Inyección alcalina por vía semiseca (TF)					X	
Inyección de cal por vía húmeda (TF)					X	
Reducción no catalítica selectiva o RNCS (TF)					X	
Reducción catalítica selectiva o RCS (TF)					X	(X)

X: aplicación primaria
(X): aplicación secundaria
(pre): normalmente como instalación de pretratamiento
(TF): técnica de tratamiento utilizada como tratamiento final
(pul): principalmente como técnica de pulido tras técnica estándar
* El quemado por antorcha sólo puede utilizarse en situaciones de emergencia.

2.5.3. Técnicas de tratamiento de aguas residuales

Los efluentes de agua de una instalación de SIC suelen tratarse en una planta central de tratamiento del agua residual dedicada específicamente a la producción de SIC o también a otras producciones (cuando la instalación de SIC se encuentra en un complejo químico mayor).

Las diferentes técnicas de tratamiento de final de línea del agua residual, para cuyo uso tenemos evidencia o que se consideran habituales en el sector de las SIC, se muestran en la Tabla 2.3, que se basa en la Tabla 1.1 del BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Tabla 2.3: Principales contaminantes del agua residual y sus respectivas técnicas de tratamiento

Técnica	SST	DBO DQO COT	DQO refracta ria	AOX EOX	N- total	NH ₄ -N (NH ₃)	PO ₄ -P	Metales pesados	Fenoles	Petróleo
Técnicas de separación o clarificación										
Sedimentación* ¹	X	(X) ^a						(X) ^j		
Flotación por aire	X	X ^b						(X) ^j		X
Filtración	X	(X) ^a						(X) ^j		
Microfiltración (MF) / Ultrafiltración (UF)	(X) ^c	(X) ^a								
Técnicas de tratamientos físico-químicos										
Precipitación*							X	X		
Cristalización							X	X		
Oxidación química		X	X	X						
Reducción química								X		
Nanofiltración (NF) / Osmosis inversa (RO)		X	X	X				X		
Adsorción		X	X	X				X		
Intercambio de iones		(X) ^d						X		
Evaporación		(X) ^e						X		
Separación por desorción		(X) ^f		X		X				
Incineración	X	X	(X) ^g		X				X	X
Técnicas de tratamientos biológicos										
Digestión biológica anaeróbica		X		(X) ^h	(X) ^h			X ⁱ		
Digestión biológica aeróbica		X		(X) ^h			X		X	
Nitrificación/ desnitrificación					X	X				

X: aplicación primaria

(X): aplicación secundaria

¹ Incluye coagulación / floculación

* Las técnicas de precipitación y sedimentación suelen utilizarse conjuntamente (véase la Sección 4.4.1)

^a Sólo sólido

^b Contenido orgánico sin disolver

^c Finamente disperso y concentración baja

^d Especies orgánicas iónicas

^e Contenido orgánico no volátil

^f Contenido orgánico volátil

^g Se necesita equipo de incineración especial

^h Sólo componentes biodegradables

^j Compuestos de metales pesados sin disolver

ⁱ En combinación con sulfato precipitado como sulfuros

Debería tenerse en cuenta que, durante la elaboración de este documento, no hemos recogido ninguna evidencia de que en el sector de las SIC se emplean las técnicas siguientes identificadas en el documento BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003] (el motivo es que se ocupan principalmente de contaminantes orgánicos del agua residual que no suelen ser contaminantes preocupantes para la fabricación de SIC):

- separación aceite/agua
- oxidación en aire húmedo
- oxidación en agua supercrítica (OASC)
- hidrólisis química
- extracción
- destilación / rectificación

2.6. Equipo e infraestructura del proceso

Todos las plantas de producción de SIC tienen una infraestructura integral que interconecta las unidades de producción (véase la Figura 2.1). La infraestructura proporciona, en concreto, los equipos y los servicios esenciales (incluyendo utilidades y prácticas de monitorización) con los que garantizar que el proceso de producción funciona de un modo eficaz y seguro, y no perjudica al entorno. Las secciones siguientes proporcionan breves descripciones sobre el equipo del proceso y la infraestructura de soporte de una instalación de SIC, así como las cuestiones medioambientales asociadas.

En el Capítulo 4, se describen los equipos para la reducción de la contaminación habituales en las instalaciones de SIC.

2.6.1. Reactores

Los reactores suelen formar parte del núcleo funcional del proceso ya que se utilizan para convertir las materias primas en productos crudos. Existen muchos tipos de reactores y los diseños pueden ser específicos al proceso, pero podemos clasificarlos, a grandes rasgos, según:

- el modo de funcionamiento (continuo o por lotes): los procesos SIC utilizan modos de funcionamiento continuos (por ejemplo, compuestos de fósforo, siliconas), así como modos de funcionamiento por lotes (por ejemplo, explosivos inorgánicos);
- la fase de reacción: la producción de sustancias SIC puede llevarse a cabo en reactores en forma de reacciones catalizadas de forma heterogénea en las que los reactivos gaseosos entran en contacto con un catalizador sólido para formar productos gaseosos. La ventaja es que de esta forma puede evitarse la

mezcla de producto con el catalizador o el solvente, pero tiene el inconveniente de que suele alimentarse muy diluido y se obtienen conversiones reducidas. Las reacciones de gas-líquido también son importantes y pueden producirse en diversos reactores, como tanques agitados constantemente, fermentadores de flujo de tapón o reactores de columna de burbujas.

- la geometría del reactor: la configuración del flujo y la forma en que las fases entran en contacto. Algunas configuraciones de reactor típicas son:
 - tubular de lecho fijo,
 - con múltiples tubos de lecho fijo,
 - de lecho fluidificado.

Los reactores deben soportar diversas condiciones de corrosión, temperatura y presión, y, por lo tanto, en el sector de las SIC suelen estar hechos de acero, acero semiduro revestido con cristal o materiales recubiertos (por ejemplo, resinas, esmalte, PTFE). El diseño actual tiene en cuenta los factores siguientes:

- química (la cinética de la reacción determina el tiempo de residencia para conseguir el grado necesario de conversión de las materias primas en el producto deseado);
- transferencia de masa (la velocidad de difusión de las especies que reaccionan);
- transferencia térmica (la eliminación o adición de calor para la reacción);
- la salud y la seguridad de los trabajadores y la protección medioambiental (la prevención de emisiones mediante el control de la reacción).

Otras características de los reactores son:

- depósito de presión con envoltura que incluye medias bobinas en el exterior o en el interior;
- tamaños variables: desde unos pocos litros (por ejemplo, para explosivos inorgánicos) hasta 60 m³;
- equipado con una o varias agitadoras (impulsores);
- suelen aplicarse envolturas alrededor del depósito para facilitar la transferencia térmica;
- suelen instalarse pantallas en el interior para evitar la rotación de torbellino de los contenidos con la agitadora.

En condiciones operativas normales, hay cinco fuentes principales de producción de residuos en los reactores:

- una reacción primaria entre las materias primas,
- una reacción secundaria posterior a la reacción primaria,
- las impurezas que contienen las materias primas (por ejemplo, benceno en la materia prima HCN para la producción de cianuros),
- la degradación o la pérdida del catalizador durante la limpieza del reactor,
- la incapacidad de reciclar la materia prima que no ha reaccionado y devolverla al reactor.

Es muy raro que se originen efluentes directamente de los reactores y, en la mayoría de casos, la principal carga contaminante resulta de la separación y purificación del producto.

Los reactores pueden generar emisiones a la atmósfera, como consecuencia de:

- las emisiones directas de las chimeneas de ventilación de los reactores de fase líquida;
- las chimeneas de ventilación de los dispositivos de recuperación que sirven caudales en reactores de fase líquida (permite la recuperación de materias primas, productos y subproductos);
- las chimeneas de ventilación de los reactores de fase gaseosa (tras el dispositivo de recuperación de producto primario o secundario);
- las emisiones gaseosas procedentes de dispositivos de combustión aplicados a cualquiera de los flujos anteriores;
- las pérdidas fugitivas en las juntas del agitador, en las juntas de la bomba de circulación, las válvulas de seguridad, las bridadas, la empaquetadura de válvulas, etc.

Los reactores constan de conductos de entrada (para permitir la adición de reactivos químicos y atmósferas de reacción inertes) y conductos de salida (para la eliminación de productos, residuos y ventilación de emergencia). También dispone de puntos de acceso para medir las condiciones de la reacción, para actividades de mantenimiento y para que el agitador mezcle completamente los reactivos. Las conexiones representan puntos potenciales de pérdidas y, por lo tanto, es aconsejable reducir el número de conexiones.

También es habitual que los reactores incluyan alguna forma de intercambiador térmico interno o externo que permita el control de la temperatura mediante el calentamiento y/o la refrigeración. Los reactores pueden aislarse para evitar las fluctuaciones de temperatura y minimizar las pérdidas de energía.

El vaciado y la limpieza de los reactores son operaciones que pueden causar pérdidas, que pueden minimizarse con las medidas siguientes:

- reduciendo las obstrucciones internas;
- instalando el drenaje en el punto más bajo;
- diseñando entradas con una inclinación hacia el reactor.

Esto se complementa mediante prácticas operativas como mantener el sistema caliente para facilitar el drenaje, realizar la limpieza con vapor y planificar campañas de producción para minimizar los cambios de producto.

2.6.2 Bombas, compresores y ventiladores

Las bombas, compresores y ventiladores se utilizan con frecuencia en las instalaciones de SIC para incrementar la presión y provocar, de este modo, el movimiento de líquidos o gases entre equipos. Existe una gran variedad de equipos, la mayoría de ellos diseñados para aplicaciones determinadas, que se dividen en: equipos centrífugos, rotatorios y recíprocos.

Las bombas requieren juntas (muchas veces un prensaestopas) para evitar pérdidas de líquido de la interfaz entre el cuerpo móvil y el armazón fijo, pero se necesita un nivel bajo de pérdidas en las superficies de sellado para la lubricación. Las juntas mecánicas de estanqueidad proporcionan menos fugas que los prensaestopas en los ejes rotatorios, siempre que la junta esté bien alineada y no esté expuesta a vibraciones. Las juntas mecánicas dobles proporcionan un nivel superior de prevención de fugas y se basan en la presurización de fluidos en vacío entre las dos juntas. Si se buscan niveles de protección aún mayores, deberá recurrirse a bombas que prescindan de las juntas (por ejemplo, bomba centrífuga de transmisión de embrague magnético, bomba centrífuga de motor hermético, bomba de diafragma y bomba peristáltica), aunque estas bombas pueden ser menos eficaces desde el punto de vista energético.

Los compresores pueden tener características similares a las de las bombas, aunque tienen diseños más complicados para la lubricación y refrigeración de la interconexión entre las partes fijas y las partes móviles de la junta. Estos son los tipos habituales de junta del compresor:

- laberinto
- anillo restrictivo
- junta mecánica
- junta de película líquida
- anillo magnético.

El sistema de sellado del eje suele presentar exudaciones de gas que deberán reducirse.

2.6.3. Tuberías

Los conductos para la transferencia de gases, líquidos y sólidos son una parte integral de cualquier proceso de producción. El diseño de las tuberías depende de factores como la presión operativa, la temperatura y la corrosividad de las sustancias, por lo tanto, es muy específico para cada instalación. Es muy poco probables que las tuberías bien diseñadas sufran fallos de gran consideración y la mayoría de pérdidas se asocian a las conexiones de las tuberías. Estas conexiones se utilizan para unir tuberías (por ejemplo, para unir dos tramos de tubería

recta, para cambiar de dirección, para cambiar de diámetro, para unir dos caudales) o para enlazar el equipo operacional anexo (por ejemplo, bombas, compresores, depósitos, válvulas). Para construir estas conexiones, pueden emplearse métodos muy diversos, como bridas, puntos de soldadura, roscado. Cuando las tuberías están revestidas, deben considerarse aspectos especiales. Por norma general, es aconsejable minimizar la longitud de los recorridos de la tubería y el número de conexiones. Para minimizar las emisiones fugitivas de las tuberías es importante respetar los calendarios de control y de mantenimiento, especialmente cuando las tuberías están instaladas en zonas de una instalación poco frecuentadas.

2.6.4. Válvulas

Las válvulas se utilizan con mucha frecuencia en las instalaciones para controlar o prevenir el flujo de gases y líquidos. El tipo y el diseño de las válvulas dependen totalmente de la aplicación. Las partes internas de las válvulas suelen accionarse desde el exterior y para ello se necesita una tija de mando. Para que las válvulas no tengan pérdidas de fluido suelen utilizarse juntas de prensaestopas, aunque al igual que sucede con las bombas, el calor, la presión, la vibración y la corrosión pueden afectar a la empaquetadura y permitir fugas.

Estas pérdidas pueden reducirse mediante el uso de fuelles o diafragmas para aislar el accionamiento de la válvula de los fluidos del proceso. Sin embargo, las válvulas de fuelle son bastante más caras que las válvulas de compuerta y su tamaño puede suponer un problema para el diseño del sistema de tuberías. Del mismo modo, el uso de válvulas de diafragma puede estar restringido por las presiones, temperaturas y entornos corrosivos habituales en las instalaciones de SIC.

El uso de válvulas de retención, que incorporan conjuntos de tarado de carga constante por resorte montados en tornillos prensa, compensa la relajación normal de la empaquetadura o los efectos de la vibración y la oscilación térmica. La «carga constante» de la válvula ofrece mejoras considerables en la estanqueidad a largo plazo para las válvulas de compuerta de husillo ascendente, las válvulas de globo y las válvulas de control reguladoras. En Estados Unidos, la «carga constante» de la válvula se considera MACT (siglas inglesas de Maximum Achievable Control Technology), «equivalente a» una válvula de fuelle. En las válvulas de husillo ascendente utilizadas con frecuencia (las más problemáticas), la «carga constante» ofrece una mejora considerable minimizando las emisiones a largo plazo (<500 ppm para entre 3 y 5 años) [30, European IPPC Bureau, 2003].

Las válvulas que no funcionan tal y como se había previsto en un principio pueden tener graves implicaciones medioambientales (emisiones fugitivas o fallos de gran consideración). El riesgo de fallo mecánico puede minimizarse median-

te un régimen apropiado de inspección y mantenimiento. Sin embargo, el fallo de las válvulas suele deberse a un funcionamiento incorrecto y esto resalta la necesidad de implantar procedimientos operativos eficaces.

2.6.5. Fluidos de servicio público

En las instalaciones de SIC se utilizan diversos gases (entre ellos, gases inertes), para facilitar el uso del equipo o llevar a cabo actividades especiales. Las instalaciones de SIC pueden tener sistemas de distribución para gases como el nitrógeno, el dióxido de carbono y el aire comprimido. Estos gases suelen ser inertes y relativamente benignos por sí mismos, pero pueden llegar a contaminarse con otros productos o residuos y, por lo tanto, requerir un tratamiento específico.

El aire comprimido, el dióxido de carbono y el nitrógeno tienen usos importantes para purgar recipientes y equipos de atmósferas tóxicas o inflamables. Los recipientes suelen purgarse con aire antes de su apertura, y con nitrógeno o dióxido de carbono antes de la puesta en marcha. El purgado de los recipientes con aire no es válido para todos los procesos en los que puede haber vapores inflamables, en cuyo caso se utiliza el purgado de vapor o soplado de nitrógeno. El deseo, por motivos ecológicos, de minimizar la cantidad de gas de purgado debe equilibrarse con los requisitos esenciales en materia de salud y seguridad. Sin embargo, es posible reducir los volúmenes de purgado cuestionándose la necesidad de abrir el recipiente y analizando continuamente un parámetro indicador (como el oxígeno) para identificar cuando ha finalizado la purga. La contaminación de las purgas también puede reducirse garantizando que la instalación se drena por completo antes de la introducción de los flujos de purga.

El aire seco comprimido se utiliza para la limpieza, el accionamiento de válvulas de control, el accionamiento de válvulas de apertura/cierre e instrumentos operativos, pero cada vez se utiliza menos para accionar los controladores neumáticos que se emplean para el control de la planta. Las instalaciones suelen tener diversos sistemas de reticulación para diferentes cantidades de agua (por ejemplo, agua potable, desmineralizada para alimentación de las calderas).

Puesto que en determinadas condiciones los gases inertes y el dióxido de carbono pueden suponer un riesgo grave para la salud de los trabajadores, es preciso respetar normas muy estrictas cuando se utilizan estos gases [33, European Industrial Gases Association, 1999].

2.6.6. Sistemas de enfriamiento y refrigeración

Por norma general, los sistemas de refrigeración sólo se adoptan cuando se ha minimizado el calor residual y se han agotado todas las oportunidades rentables

desde un punto de vista económico para la reutilización del calor. Esta integración térmica permite ahorrar energía y reducir las emisiones asociadas. La eliminación de calor de procesos exotérmicos es muy importante por motivos de seguridad y control del proceso, y el enfriamiento también puede ser necesario para crear las condiciones adecuadas en algunas etapas del proceso (por ejemplo, licuación de compuestos de ebullición baja). Casi todas las instalaciones de SIC tienen un gran sistema de refrigeración. El medio de refrigeración que habitualmente se utiliza es el agua pero cada vez tiene más peso el enfriamiento por aire. Para enfriamientos por debajo de los 20 °C aprox., se necesitan normalmente otros medios de refrigeración (por ejemplo, amoníaco, hidrocarburos, dióxido de carbono).

Los sistemas de refrigeración normalmente incluyen algún tipo de intercambiador de calor para eliminar el calor del proceso, un medio de transferencia térmica y un mecanismo para disipar el calor en el entorno. Existen múltiples tecnologías de refrigeración. Puesto que estas tecnologías son comunes en el sector, se describen en detalle en el BREF horizontal sobre Sistemas de refrigeración industrial [31, European IPPC Bureau, 2000]. La aplicación de sistemas de refrigeración depende, de forma considerable, de las condiciones específicas del emplazamiento y es preciso evaluar cada caso individualmente utilizando los principios del BREF CV [36, European IPPC Bureau, 2003] horizontal para establecer los requisitos de enfriamiento.

Las principales consideraciones son:

- pérdidas potenciales de materiales del proceso que dependen considerablemente de la eficacia de los sistemas de refrigeración que se utilizan para la condensación;
- consumo de recursos (por ejemplo, agua, aire, energía, sustancias químicas);
- vertidos al agua (sustancias químicas, calor) y emisiones a la atmósfera;
- emisiones de ruido;
- penachos;
- generación de residuos;
- riesgos;
- contaminación derivada de eventos específicos (puesta en marca, cierre) o incidentes;
- efectos del diseño del equipo y el proceso, del material y del mantenimiento;
- desmantelamiento de instalaciones.

Por norma general, las torres de refrigeración por evaporación para el agua se diseñan de forma que los penachos condensados no lleguen a nivel del suelo, ya que de lo contrario podrían provocar molestias (pérdida de luz, visibilidad reducida, carreteras heladas) y contaminación (con biocidas o microorganismos). También se monitoriza la contaminación de los circuitos de refrigeración con fluidos del proceso utilizando un parámetro de indicación apropiado (por ejemplo, la

conductividad) e instalando alarmas de temperatura que avisen en caso de sobrecalentamiento.

La refrigeración puede llevarse a cabo directa o indirectamente. La refrigeración directa se efectúa inyectando agua, normalmente para refrigerar las fases de vapor. La refrigeración indirecta tiene lugar con los intercambiadores térmicos (condensadores), en los que el medio de refrigeración (por ejemplo, agua, salmuera) se bombea en un círculo independiente.

La refrigeración es necesaria cuando los procesos requieren temperaturas por debajo de las que se obtienen con el enfriamiento por agua. Los clorofluorcarbonos (CFC), o sustancias intermedias como los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), no suelen utilizarse en los sistemas de refrigeración nuevos debido a su efecto perjudicial sobre la capa de ozono. La fuente de refrigeración se distribuye alrededor de un emplazamiento utilizando agua helada (para temperaturas de aprox. 10 °C) o salmuera (hasta -30 °C). Se toman medidas para minimizar la pérdida de refrigerantes de bombas, juntas de tuberías, etc. También pueden utilizarse sistemas de detección local, como programas de detección y reparación de fugas (LDAR), para detectar pérdidas fugitivas.

Los aspectos medioambientales de los sistemas de refrigeración varían según la configuración utilizada, pero suelen centrarse en aumentar la eficacia energética global y en reducir las emisiones al entorno acuático. Los niveles de consumo y emisiones dependen del emplazamiento y, cuando pueden cuantificarse, muestran enormes variaciones. En un enfoque de las MTD integrado, deberán considerarse los efectos cruzados en la evaluación de cada aspecto medioambiental y las medidas de reducción asociadas [21, European IPPC Bureau, 2003].

2.6.7. Sistemas de limpieza

La limpieza del equipo en la planta de la instalación de SIC es necesaria porque, con el tiempo, la operación de producción provoca la acumulación de residuos en el equipo. Los residuos pueden ser, por ejemplo, materias primas sin reaccionar, catalizadores agotados o subproductos. La limpieza es necesaria para garantizar la alta calidad del producto, la eficacia del proceso y la seguridad de los trabajadores.

La limpieza del equipo suele llevarse a cabo en las instalaciones de SIC con agua, aire y, en algunos casos, con las sustancias siguientes:

- hidróxido de sodio
- ácido clorhídrico
- acetona
- solventes específicos
- vapor

El medio de limpieza escogido depende del equipo que debe limpiarse y de las sustancias que se desean eliminar mediante la operación de limpieza. El proceso de limpieza se acaba con agua para enjuagar el equipo y se trata el agua residual.

El proceso de limpieza puede llevarse a cabo de diversas formas:

- **Con mangueras:** la limpieza se lleva a cabo con agua a presión de una manguera para reducir el consumo de agua y el agua residual se conduce hacia una depuradora. Si se utilizan solventes en lugar de agua, cuando es posible, se recogen y recuperan.
- **Sistemas de limpieza in situ (LIS):** se han desarrollado sistemas de LIS para limitar las emisiones, mejorar la eficacia del proceso de limpieza, y cuidar la salud y seguridad de los propios trabajadores. Los sistemas de limpieza in situ permiten limpiar el equipo directamente en el interior con difusores de agua a presión y permiten recuperar los líquidos de lavado. Los sistemas de LIS también permiten al operador llevar a cabo el proceso de limpieza sin tener que llevarse el equipo a otro lugar o sin que los trabajadores deban entrar en los recipientes, limitando de este modo la exposición de los trabajadores a sustancias potencialmente dañinas (véanse las Secciones 6.5.4.3 y 4.5.1).

2.6.8. Sistemas de aspiración

Algunas instalaciones de SIC requieren menos presión. El vacío depende de la cantidad de gas que se esté tratando y del grado de refrigeración / condensación en el sistema. El vacío puede implementarse de diversas formas que se han resumido del siguiente modo:

- **Eyectores a chorro de vapor:** son sencillos, fiables y utilizados con frecuencia, aunque pueden ser ruidosos. Crean un efluente de baja concentración, pero puede minimizarse utilizando condensadores de superficie (en lugar de directos) en el chorro de vapor.
- **Bombas de anillo líquido:** el máximo vacío alcanzable está limitado por la presión del vapor del fluido de sellado. El líquido de cierre absorbe algunos contaminantes del caudal de gases y la purga del líquido de cierre forma un efluente concentrado que puede recuperarse o tratarse. El fluido del proceso puede utilizarse para el sellado reduciendo, de este modo, la formación de efluentes. Este tipo de bomba puede resultar ruidoso.
- **Bombas de vacío en seco:** estas bombas no producen efluente ya que el sellado se consigue mediante altas velocidades de rotación de la bomba rotatoria y tolerancias estrechas. La presencia de líquidos o sólidos condensables puede conllevar frecuentes operaciones de mantenimiento o posibles fallos. Las bombas de vacío en seco no pueden utilizarse si el fluido del proceso es potencialmente explosivo en condiciones normales o excepcionales.

La entrada de aire a través de las juntas es un punto importante que debe tenerse en cuenta a la hora de garantizar la eficacia de los sistemas de vacío. La entrada de aire puede reducirse mediante un diseño cuidadoso, una elección correcta del equipo y operaciones de mantenimiento frecuentes. Es posible utilizar instrumentación para detectar caudales excesivos.

2.6.9. Sistemas de almacenamiento

Las instalaciones de SIC utilizan sistemas de almacenamiento para almacenar líquidos, gases licuados y sólidos que se utilizan o producen durante las operaciones de la planta (por ejemplo, materias primas y auxiliares, productos acabados y subproductos, residuos).

En las instalaciones de SIC se emplean los sistemas siguientes para almacenar líquidos y gases licuados:

- tanques no cubiertos (atmosféricos),
- tanques (verticales) de techo fijo (atmosféricos),
- tanques de almacenamiento horizontales a nivel del suelo (atmosféricos o a presión),
- tanques de almacenamiento horizontales subterráneos (atmosféricos o a presión)
- tanques de almacenamiento verticales (a presión),
- tanques esféricos (a presión),
- contenedores (por ejemplo, contenedores de cristal, bidones, contenedores mixtos de plástico, contenedores mixtos, grandes recipientes para mercancías a granel (CRG)).

Los sistemas siguientes se utilizan en las instalaciones SIC para almacenar sólidos:

- pilas (en el exterior o en el edificio),
- sacos y bolsas,
- silos y tolvas,
- envases para sólidos peligrosos (por ejemplo, envases hechos de receptáculos primarios y secundarios).

Pueden producirse emisiones al medio ambiente como consecuencia del uso de sistemas de almacenamiento, ya sea como resultado de las condiciones operativas normales (incluyendo la transferencia de sustancias y la limpieza) o de incidentes y accidentes.

Estas emisiones pueden ser:

- emisiones a la atmósfera,
- emisiones (vertidos) al agua (directos / indirectos),
- emisiones de ruido,
- emisiones de residuos.

Para obtener más información sobre los sistemas de almacenamiento mencionados en esta Sección y las posibles emisiones asociadas con su utilización, consulte el BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

2.6.10. Sistemas de transferencia y manipulación

Las instalaciones de SIC utilizan sistemas diferentes para transferir gas, líquido o materiales sólidos de una etapa del proceso a otra o transportarlos del lugar de almacenamiento o hasta el mismo.

En las instalaciones SIC se utilizan los sistemas siguientes para transferir y manipular gases y líquidos:

- sistemas de transferencia sellados con tuberías a nivel del suelo;
- sistemas de transferencia sin sellar con tuberías a nivel del suelo;
- sistemas de transferencia con tuberías subterráneas;
- mangueras flexibles y canalizaciones rígidas para descarga.

En las instalaciones SIC se utilizan los sistemas siguientes para transferir y manipular sólidos:

- camiones volquete (por ejemplo, en la fabricación de siliconas, véase la Sección 6.3.2.2);
- transportadores mediante aire de aspiración;
- transportadores mediante aire de presión;
- elevadores de cangilones (por ejemplo, en la fabricación de siliconas, véase la Sección 6.3.2.2).

Para obtener más información sobre los sistemas de transferencia y manipulación mencionados en esta Sección y las posibles emisiones asociadas con su utilización, consulte el BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

2.6.11. Prácticas de monitorización

Por norma general, no hay ningún aspecto concreto en el sector de las SIC que justifique medidas o prácticas de monitorización que no se hayan incluido en el BREF MON [36, European IPPC Bureau, 2003].

Como caso especial, la monitorización de trazas explosivas en el agua residual se efectúa prácticamente a diario, en la mayoría de instalaciones de SIC que producen explosivos.

Por motivos sanitarios y de seguridad, es posible instalar dispositivos de monitorización en las zonas de trabajo de las instalaciones de SIC para detectar sustancias peligrosas (por ejemplo, NH₃ y HCN en la producción de cianuros).

2.7. Suministro energético

Muchas de las etapas de reacción, separación y purificación de los procesos de las SIC tienen un requisito energético que, en ocasiones, es elevado. La fuente energética depende de los requisitos del proceso y de la disponibilidad local. Muchos operadores subcontratan el suministro de energía a terceras partes o utilizan las instalaciones centrales existentes en muchas zonas industriales. Las principales fuentes de energía son: hornos de caldeo directo, calderas de vapor, generación de energía en turbinas e intercambio térmico (procedente de un producto o materia prima más caliente). Puede encontrar más información sobre unidades de combustión como las calderas y las turbinas de gas en el BREF LCP [32, European IPPC Bureau, 2004].

Los hornos de proceso son la fuente primaria de calor en muchos procesos químicos endotérmicos y normalmente consumen gas o combustibles líquidos. Los hornos de proceso suelen ser reactores químicos y consumen energía. Al igual que los intercambiadores térmicos, se consideran equipos de proceso.

El vapor suele generarse en calderas de vapor o en unidades combinadas de calor y energía (plantas de cogeneración o CHP). La energía de las calderas se distribuye alrededor de una instalación utilizando un medio de transferencia térmica (normalmente vapor, pero también agua o aceite). Un complejo industrial grande suele tener vapor disponible en diversos niveles de energía (presión alta, media o baja). El calor se introduce en el proceso bien directamente (por ejemplo, por inyección de vapor) o indirectamente con ayuda de algún intercambiador térmico (normalmente de tipo blindado y de tipo tubo). El condensado del vapor suele tener su propio sistema de recogida para su retorno a la caldera.

Se necesita energía eléctrica para las bombas, las mezcladoras, los compresores y la iluminación. La energía puede generarse in situ o comprarse, pero la industria química tiende a combinar la generación de energía y de vapor en plantas de cogeneración. Las plantas de cogeneración satisfacen la demanda de vapor y electricidad y tienen una eficacia energética global muy alta. También reducen la dependencia de fuentes energéticas externas y pueden generar un exceso de energía para la red. Las plantas de cogeneración son ideales cuando la relación calor/electricidad es, como mínimo, de 1:1 y se necesita electricidad para al menos 6.000 horas al año. Sin embargo, la dependencia de fuentes energéticas externas aumenta cuando las plantas de cogeneración son construidas y operadas por terceros.

2.8. Sistemas de gestión

Aunque los sistemas de gestión son componentes fundamentales del proceso de producción de SIC (tal y como se muestra en la Figura 2.1), se describen en la Sección 4.7.6 debido a su elevada importancia como técnica de prevención y control de la contaminación.

3. Niveles comunes de consumo y emisión

Los niveles de consumo y emisión dependen, en gran parte, de cada proceso de producción de SIC. Resulta difícil definirlos y cuantificarlos con precisión, a no ser que el proceso en cuestión haya pasado por un intercambio de información detallado.

El carácter y la magnitud de las emisiones varía mucho de un proceso SIC a otro debido a diferencias en, por ejemplo,

- la composición de la materia prima, en concreto, su contenido de impurezas,
- la gama de productos,
- la naturaleza de los productos intermedios,
- el uso de materiales auxiliares,
- las vías de proceso y las condiciones,
- el grado de técnicas de prevención de emisiones en el proceso,
- el tipo de caudales de residuos y tratamientos de final de línea.

Además, al igual que en cualquier instalación química, las emisiones de una instalación de SIC varían con el tiempo según el escenario operativo:

- funcionamiento normal,
- funcionamiento excepcional (por ejemplo, puesta en marcha, apagado, mantenimiento, incidente),
- emergencias (por ejemplo, incendios, explosiones, accidentes),
- desmantelamiento.

Todo esto dificulta la definición de niveles genéricos de consumo y emisiones aplicables para todo el sector de las SIC. Sin embargo, la información del Capítulo 6 muestra que las instalaciones de SIC suelen recurrir a tratamientos de final de línea (por ejemplo, filtros de tela, depuradores) para la reducción de las emisiones, especialmente cuando hay sustancias peligrosas. Se considera que los niveles de emisión alcanzados con ayuda de los sistemas de reducción que se utilizan en el sector de las SIC suelen estar en línea con los niveles de emisiones indicados en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Dado que los procesos SIC utilizan muchas fases y equipos comunes (véase Capítulo 2), es posible considerar (de forma genérica) cuándo pueden producirse emisiones, es decir, cuáles son las fuentes de emisiones, y qué tipo de contaminantes puede incluir dichas emisiones. Las listas siguientes de fuentes de emisiones no son exhaustivas ni todas las fuentes de emisiones mencionadas están

presentes en todos los procesos de SIC, aunque las secciones siguientes proporcionan una lista de control de posibles fuentes de emisiones y componentes que puede servir para evaluar cualquier proceso de producción de SIC.

3.1. Emisiones a la atmósfera

Tal y como se indica en el Capítulo 2, cualquier proceso de producción de SIC puede verse de forma genérica como una secuencia de cinco etapas generales y tres actividades complementarias (véase la Figura 2.1). Las partes que componen ese proceso genérico proporcionan una estructura útil para identificar las fuentes potenciales y los tipos de emisiones a la atmósfera, algunas de las cuales se enumeran a continuación.

Tabla 3.1 presenta los principales contaminantes que podrían emitirse a la atmósfera durante la producción de algunas sustancias SIC (algunos de los contaminantes marcados en la tabla para un subgrupo de sustancias producidas no siempre están presentes en todos los procesos —por ejemplo, los compuestos orgánicos y los COV no están presentes en todos los procesos de fabricación de pigmentos CIC).

Tabla 3.1. Principales contaminantes que podrían emitirse a la atmósfera durante la producción de algunas sustancias SIC

Sustancias SIC producidas	Polvo	SO ₂	NO _x	CO ₂	Fluoruros	Compuestos orgánicos	HCl	HCN	NH ₃	COV	P-óxidos	Compuestos metálicos
Explosivos	X					X				X		
Pigmentos	X	X	X	X	X	X			X	X		X
Cianuros			X					X	X	X		
Siliconas	X		X				X			X		
Compuestos de fósforo							X				X	
Sales de níquel	X		X ^a									X

Sólo se indican las emisiones directas en condiciones de funcionamiento normal.

Algunos contaminantes no están sistemáticamente presentes para la familia concreta de sustancias SIC.

^a Sólo en la producción de dinitrato de níquel

Suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas y auxiliares

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Respiraderos en columnas de destilación y columnas de desorción para la eliminación de impurezas en materias primas	
Respiraderos en recipientes de mezcla previa (por ejemplo, polvo, metales pesados)	
Carga/descarga de contenedores y recipientes (cisternas para transporte por carretera, ferrocarril y barco)	HNO ₃ , H ₂ SO ₄
Protección de tanques de almacenamiento	
Pérdidas de transportadores	Partículas
Pérdidas evaporativas de derrames	COV
Emisiones difusas durante la manipulación con cargadores	Partículas
Emisiones difusas de pilas	Partículas

Síntesis/reacción/calcinación

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Respiraderos de equipos de reacción (por ejemplo, respiraderos de purga, respiraderos inertes de condensadores, recipientes de mezcla final, lavadores de proceso)	
Los respiradores asociados con la preparación y regeneración de catalizadores	COV, COx, NOx, SOx
Respiraderos en recipientes de mezcla previa (por ejemplo, polvo, metales pesados)	
Dispositivos de descarga para garantizar el funcionamiento seguro (por ejemplo, válvulas de despresurización, discos de ruptura)	

Separación y purificación del producto

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Respiraderos que sirven a equipos de separación (por ejemplo, columnas de destilación, columnas de desorción, cristalizadores, condensadores)	
Secado y manipulación de sólidos	Partículas
Regeneración de lechos de purificación	COx, COV

Manipulación y almacenamiento de los productos

Se puede encontrar información detallada sobre las fuentes de emisión en el BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003], pero, a grandes rasgos, las emisiones pueden proceder de:

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Carga/descarga de contenedores y recipientes (cisternas para transporte por carretera, ferrocarril y barco)	
Protección de tanques de almacenamiento	COV
Pérdidas de transportadores	Partículas
Pérdidas por evaporación de derrames	COV

Reducción de emisiones

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Unidades de combustión de gas residual (por ejemplo, unidades de postcombustión térmica, incineradores)	Contaminantes secundarios que no existían en el caudal de residuos original (por ejemplo, dioxinas, partículas), así como gases de combustión
Separación de agua residual por desorción (con aire o vapor)	Transferencia de sustancias orgánicas disueltas en la fase gaseosa
Drenajes, tanques de compensación de sistemas de recogida de agua residual	COV
Almacenamiento y tratamiento de residuos sólidos	Partículas

Infraestructura

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Pérdidas fugitivas de los equipos (por ejemplo, compresores, bombas, válvulas)	
Agua de refrigeración contaminada con los flujos del proceso (por ejemplo, fugas de los equipos) que pasa por torres de refrigeración	
La ventilación del espacio de trabajo constituye un problema para la salud y la seguridad. Aunque las concentraciones de contaminante son muy bajas en el aire de ventilación, se pueden producir liberaciones en masa importantes a la atmósfera debido a los elevados volúmenes de aire implicados	COV
Analizadores y orificios para muestreo	
Evacuación y limpieza del equipo para prepararlo para el acceso (por ejemplo, mantenimiento)	COV

Energía

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Unidades de combustión para generar vapor, calor y electricidad (por ejemplo, calentadores de proceso, hornos)	Gases de combustión habituales (por ejemplo, CO _x , NO _x , SO ₂ , partículas) y otros contaminantes (por ejemplo, gases ácidos, dioxinas) cuando se queman residuos

Sistemas de gestión

Las insuficiencias de los sistemas de gestión, o la imposibilidad de los operadores de adherirse a los procedimientos descritos, puede ser el origen de incidentes o problemas con posibles emisiones a la atmósfera.

3.1.1. Emisiones difusas a la atmósfera

Muchos procesos SIC implican la manipulación de materiales sólidos y emisiones difusas de polvo y partículas pequeñas que salen por las juntas de los sistemas de transferencia, o que se liberan de las pilas (por ejemplo, polvo de silicona elemental en la producción de siliconas), del embalaje, etc. y constituyen un problema muy importante para muchas instalaciones.

En otros procesos en los que se manipulan gases o líquidos con presiones de vapor moderadamente altas, siempre existe la posibilidad de emitir gases ácidos, amoníaco, COV o compuestos inorgánicos volátiles de bridas, bombas, agitadores y válvulas con juntas, tanques de almacenamiento, conexiones de cisternas, puntos para muestreo, etc. Estas emisiones fugitivas pueden producirse como consecuencia de una relajación o como resultado del desgaste progresivo y el uso habitual de los materiales de sellado, por un mal uso, mantenimiento o diseño, o por fallos en el equipo. Aparte de las emisiones de material debidas a una mala operación o a fallos en el equipo, las pérdidas fugitivas de equipos determinados suelen ser pequeñas, pero en una instalación a gran escala el efecto total puede ser significativo.

3.1.2. Emisiones a la atmósfera de fuentes puntuales

Al igual que sucede con las emisiones difusas, muchos procesos de producción SIC que implican la manipulación de materiales sólidos liberan determinadas cantidades de polvo, humos o partículas húmedas por las chimeneas de ventilación – y algunas de estas emisiones contienen sustancias tóxicas como compuestos de metales pesados. Otras instalaciones de SIC liberan cantidades significativas de gases ácidos, amoníaco o compuestos orgánicos o inorgánicos volátiles por las chimeneas de ventilación de recipientes, contenedores de almacenamiento y sistemas de reducción de emisiones.

3.2. Vertidos al agua

De nuevo, el enfoque genérico para comprender un proceso de producción de SIC (véase la Figura 2.1) proporciona una estructura útil para identificar las fuentes de vertidos al agua. En todas las fuentes, debe prestarse atención no sólo a los flujos de efluentes que se mezclan con las aguas superficiales (ríos, lagos, mares), sino también a las descargas indeseadas a las aguas subterráneas, ya sea de forma directa o indirecta (a través de la contaminación del suelo).

La Tabla 3.2 presenta los contaminantes que podrían transportarse en el agua residual, vertida a las aguas receptoras, durante la producción de algunas sustancias SIC.

Tabla 3.2. Contaminantes que podrían transportarse por el agua residual vertida a las aguas receptoras durante la producción de algunas sustancias SIC

Sustancias SIC producidas	AOX	DBO	DQO	COT	SST	Anilina	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sb	V	Zn	Cl	CN	NaCl	NH ₄
Explosivos		X	X	X		X		X										X								
Pigmentos	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cianuros		X	X																					X		X
Siliconas	X	X						X								X					X	X				
Compuestos de fósforo							X																X		X	
Sales de níquel									X							X	X	X			X					

Sólo se indican las emisiones directas en condiciones de funcionamiento normal.
Algunos contaminantes no están presentes sistemáticamente para una familia concreta de sustancias SIC (por ejemplo, la anilina no está presente en la fabricación de pigmentos inorgánicos complejos).

Las fuentes de emisiones al agua pueden incluir (según el proceso, las materias primas y auxiliares y las condiciones operativas):

Suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas y auxiliares

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Excedentes de depósitos de almacenamiento	HNO ₃ , H ₂ SO ₄
Recipientes de mezcla (por ejemplo, excedentes, lavado)	Pb(NO ₃) ₂
Vertidos durante carga/descarga	HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , Pb(NO ₃) ₂
Fugas de tanques y sistemas de canalización	HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , Pb(NO ₃) ₂

Síntesis/reacción/calcinación

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Cuando el agua se añade como reactivo, disolvente o transportador	
Cuando se forma agua de reacción en el proceso (por ejemplo, de una reacción de condensación)	Pb, NO ₃ ⁻ , DQO
Cuando hay agua en la materia prima	
Purgas y exudaciones del proceso (especialmente de "licores madre")	
Enfriamiento atemperado de caudales de vapor orgánico	

Separación y purificación del producto

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Cuando se utiliza agua para lavar el producto y recoge restos de productos/residuos	COV (DQO)
Agentes neutralizadores agotados (ácidos o alcalinos)	
Regeneración de resinas de intercambio de iones	NaCl
Recuperación de solventes	

Manipulación y almacenamiento de los productos

Se puede encontrar información detallada sobre las fuentes de emisión en el BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003], pero, a grandes rasgos, las emisiones pueden proceder de:

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Excedentes de depósitos de almacenamiento	
Vertidos durante carga/descarga	
Fugas de tanques y sistemas de canalización	
Escapes de bidones y CRG	

Reducción de emisiones

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Los efluentes pueden utilizar agentes neutralizadores (ácidos o alcalinos)	NO ₃ ⁻ , NO ₂ , Pb ²⁺
Sistemas de reducción de los contaminantes atmosféricos (por ejemplo, lejías de lavador agotadas)	
Desencañación de lodos	
Agua de purga de juntas, bidones y bidones de extracción	

Infraestructura

Posibles fuentes de emisiones	Posibles contaminantes emitidos
Operaciones de limpieza (lavado de recipientes, tuberías y otros equipos para facilitar el acceso, por ejemplo, para las operaciones de mantenimiento)	COV (DQO), Pb ²⁺ , NO ₃ ⁻
Agua para combatir el fuego	
Aguas de escorrentía pluvial de suelos	
Fuentes difusas (por ejemplo, fugas, derrames de equipos del proceso)	COV (DQO), Pb ²⁺
Petróleo de equipos mecánicos (compresores, etc.)	Petróleo
Contaminación del condensado de eyectores de vapor utilizados para crear el vacío	
Agua del prensaestopas en bombas de vacío	
Condensados del vapor en tramos de tuberías	
Efluentes generales del emplazamiento (oficinas, cantina, laboratorios y talleres)	DBO ₅
Cortinas de agua para contención de hidrocarburos y/o absorción de gases ácidos	

Energía

Posibles fuentes de emisiones
Contaminación por hidrocarburo de sistemas de refrigeración del agua (por ejemplo, de fugas en los equipos)
Exudaciones en el agua de alimentación de la caldera (que puede contener sustancias para combatir la corrosión, biocidas e incrustaciones)
Exudaciones en la planta de desmineralización del agua
Despresurización del sistema de refrigeración
Condensado del vapor contaminado con materias primas, productos o residuos (por ejemplo, de fugas en el equipo)

Sistemas de gestión

Pueden producirse vertidos al agua como consecuencia de accidentes o incidentes atribuibles a fallos en los sistemas de gestión o a la imposibilidad de los operadores de cumplir los procedimientos descritos.

Muchas instalaciones de SIC tienen caudales de agua pequeños y fáciles de tratar, pero algunas tienen caudales de efluentes que contienen contaminantes mucho más difíciles, como complejos o compuestos de metales pesados. Cuando no es posible evitar la generación de estos flujos de aguas residuales difíciles, deben separarse y tratarse por separado.

3.3. Residuos

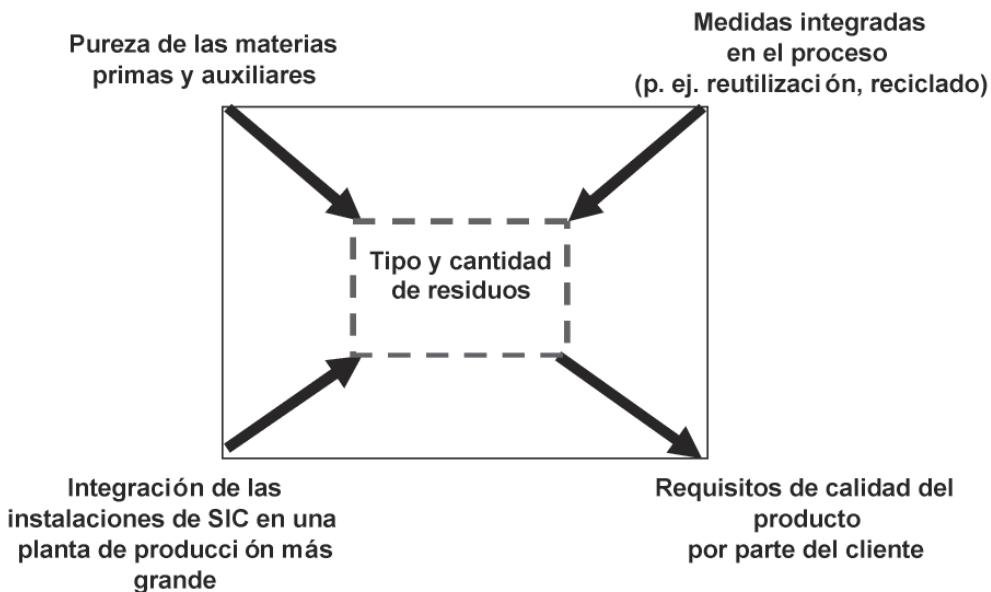
Los residuos resultantes de la producción de SIC pueden ser muy diversos, desde elementos sólidos a lodos fluidos con un contenido de agua significativo. La naturaleza de los residuos depende, en gran medida, del proceso. Los residuos pueden ser peligrosos debido a la presencia de sustancias orgánicas tóxicas o metales pesados.

Las etapas que forman un proceso de producción de SIC presentadas en la Sección 2.2 (Figura 2.1) proporcionan una estructura útil para identificar las posibles fuentes de residuos y algunas de éstas se enumeran a continuación.

La Figura 3.1 muestra que el tipo y la cantidad de residuos generados en una instalación SIC típica dependen, en gran medida, de los elementos siguientes:

- pureza de las materias primas y auxiliares,
- medidas integradas en el proceso con la finalidad de reducir los residuos (por ejemplo, reutilización, reciclado),
- integración de las instalaciones de SIC en una planta de producción más grande,
- requisitos de calidad del cliente para el producto.

Figura 3.1. Factores de los que dependen el tipo y cantidad de residuos en una instalación de SIC típica



Las fuentes de residuos pueden incluir (según el proceso, las materias primas y auxiliares y las condiciones operativas):

Suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas y auxiliares

Posibles fuentes de residuos	Posibles contaminantes emitidos
Materias primas que no cumplen las especificaciones	
Residuos de envases (por ejemplo, bidones usados, sacos)	Metales pesados, nitratos, COV
Polimerización de productos en tanques	

Síntesis/reacción/calcinación

Posibles fuentes de residuos	Posibles contaminantes emitidos
Catalizadores agotados y portacatalizadores. Los catalizadores pueden agotarse por desactivación química, degradación física o incrustaciones. La composición de los catalizadores varía enormemente y suele estar sujeta a un nivel elevado de confidencialidad en el sector de las SIC. Muchos están basados en metales caros y exóticos, y su precio anima a su recuperación (in situ o externa)	
Productos de corrosión o erosión en el equipo (por ejemplo, óxidos de hierro y otros metales)	

Separación y purificación del producto

Posibles fuentes de residuos	Posibles contaminantes emitidos
Medios de purificación agotados. Se utilizan diversos medios para eliminar impurezas, como agua o subproductos indeseados (por ejemplo, carbón activo, tamices moleculares, medios filtrantes, desecantes y resinas de intercambio iónico)	Carbono activo
Subproductos indeseados	
Residuos del proceso (por ejemplo, residuos de columnas de destilación, alquitranes y ceras, lodos en los recipientes del reactor). Estos pueden tener valor como subproducto, materia prima para otro proceso o como combustible	
Reactivos agotados (por ejemplo, solventes – éstos pueden tener valor para recuperación/reutilización, o para utilizar como combustible para capturar el valor calorífico)	
Productos que no cumplen las especificaciones	Residuos explosivos

Manipulación y almacenamiento de los productos

Se puede encontrar información detallada sobre las fuentes de emisión en el BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003], pero, a grandes rasgos, las emisiones pueden proceder de:

Posibles fuentes de residuos	Posibles contaminantes emitidos
Residuos de envases (por ejemplo, bidones usados, sacos)	Residuos explosivos
Polimerización de productos en tanques	

Reducción de emisiones

Posibles fuentes de residuos	Posibles contaminantes emitidos
Adsorbentes utilizados para limpiar vertidos	
Sólidos resultantes de la reducción de los contaminantes liberados a la atmósfera (por ejemplo, polvo de precipitadores electrostáticos y filtros de bolsa)	
Sólidos producidos por la reducción de contaminantes vertidos al agua (por ejemplo, sólidos catalizadores sedimentados del agua residual, torta de filtración)	PbCO ₃ , PbSO ₄

Infraestructura

Posibles fuentes de residuos	Posibles contaminantes emitidos
Equipo de una planta desmantelada	
Materiales de construcción (por ejemplo, metal, hormigón, aislamiento)	
Residuos generales del emplazamiento (oficinas, cantina, laboratorios y talleres)	Residuos urbanos
Agentes de limpieza usados	Ácido fosfórico
Aceites usados (lubricación, hidráulico, etc.)	Petróleo usado
Fluidos de transferencia de calor usados	

Energía

Posibles fuentes de residuos	Posibles contaminantes emitidos
Ceniza/hollín de hornos, calentadores y otros equipos de combustión	

Sistemas de gestión

Pueden producirse vertidos al agua como consecuencia de accidentes o incidentes atribuibles a fallos en los sistemas de gestión o a la imposibilidad de los operadores de cumplir los procedimientos descritos.

3.4. Olores y emisiones sonoras

Los olores y el ruido no suelen preocupar en el sector de las SIC, aunque en algunos casos pueden ser molestos.

3.5. Consumo energético

El consumo energético en el sector de SIC varía mucho dependiendo de los productos fabricados y los procesos utilizados.

El sector de las SIC no suele considerarse un gran consumidor de energía en comparación con otros sectores químicos. La energía sólo se convierte en un factor importante cuando se realizan operaciones de calcinación (por ejemplo, en la producción de algunos pigmentos inorgánicos).

En las diversas secciones del Capítulo 6 se incluyen algunos ejemplos de consumo y recuperación de energía.

En el sector de las SIC la energía se utiliza en forma de electricidad para los equipos (por ejemplo, motores, bombas, válvulas, calentadores, controladores y reguladores) o combustibles fósiles (principalmente gas natural) para la calefacción, para la producción de vapor o agua caliente.

3.6. Consumo de agua

El consumo de agua en el sector de SIC varía mucho dependiendo de los productos fabricados y los procesos utilizados.

El sector de las SIC no suele considerarse un gran consumidor de agua en comparación con otros sectores químicos. El agua sólo se convierte en un factor importante cuando se realizan operaciones de lavado.

En las diversas secciones del Capítulo 6 se incluyen algunos ejemplos de consumo y recuperación de agua.

3.7. Factores que afectan a los niveles de consumo y a las emisiones

Algunos de los niveles de consumo y emisiones que aparecen en las secciones ilustrativas de este documento (Capítulo 6) muestran variaciones importantes que dificultan enormemente la posibilidad de comparar los distintos resultados de las plantas. Esta variabilidad se explica, en gran parte, por la influencia de diversos factores: Es importante entender estos factores para interpretar los datos de consumo y emisiones de los procesos SIC y, por ello, se incluyen breves explicaciones.

En relación con los factores que afectan a los niveles de emisiones de residuos, se recomienda consultar la Sección 3.3 anterior de este Capítulo.

3.7.1. Definición de límite de instalación y grado de integración

Las instalaciones de SIC pueden estar ubicadas en un gran complejo industrial (normalmente químico) con servicios comunes (por ejemplo, vapor, electricidad, agua de refrigeración, gases industriales como oxígeno y nitrógeno) y tratamientos de agua residual / gas residual; o bien pueden ser instalaciones totalmente independientes y autónomas con sistemas de reducción y servicios propios. La integración en un complejo industrial mayor también permite recuperar y utilizar algunos caudales de residuos potenciales o de poco valor, e, incluso, procesarlos en productos vendibles, minimizando de este modo la necesidad de eliminar residuos.

3.7.2. Determinación de niveles de consumo y emisión

La ausencia de métodos estandarizados para medir y comunicar los consumos y las emisiones dificulta la comparación directa.

En cuanto a los consumos (especialmente del agua y la energía), las empresas que tienen diversas instalaciones en el mismo emplazamiento no siempre miden los niveles de consumo de una instalación de SIC individual y sólo tienen información sobre el consumo global del emplazamiento.

Las emisiones no canalizadas (fugitivas) pueden indicarse tomando como base las medidas directas o estimaciones basadas en una técnica que cuenta el número de fuentes de puntos de emisiones (bridas, válvulas, bombas, etc.) y aplica factores de emisiones estándar relacionados con el fluido contenido. El uso de diversas metodologías de medición e indicación puede conllevar niveles de emisiones aparentemente muy distintos para actividades similares. En muchos casos el uso de balances de material suele dar mejores resultados que las mediciones.

3.7.3. Definición de residuos

La definición de qué constituye un «residuo» puede tener un efecto significativo sobre las emisiones indicadas y las posteriores comparaciones de plantas.

La generación y la eliminación de residuos sólidos es especialmente compleja ya que se necesitan muchos operadores para conseguir información completa sobre, por ejemplo:

- residuos peligrosos
- catalizadores y desecantes agotados
- restos de chatarra
- materiales de envasado
- residuos de oficina.

Por otro lado, los requisitos de información son tales que sólo se miden y controlan algunas de estas categorías de residuos. En algunos casos, los catalizadores consumidos se someten a una regeneración externa y/o recuperación de metales preciosos, en lugar de eliminarse, y son difíciles de evaluar. Del mismo modo, puede parecer que las instalaciones de SIC ubicadas en emplazamientos de producción química altamente integrados generan menos residuos ya que tienen más oportunidades para transformar los flujos de residuos en productos.

4. Técnicas comunes que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD

Este capítulo describe técnicas que tienen la capacidad de proporcionar un nivel elevado de protección medioambiental en el sector al que se refiere este documento. Se incluyen sistemas de gestión, técnicas integradas en los procesos y medidas de final de línea, pero existe un cierto solapamiento entre estas técnicas en cuanto a la búsqueda de resultados óptimos.

También se tienen en consideración los procedimientos de prevención, de control, de minimización y de reciclado, así como la reutilización de materiales y energía.

Las técnicas pueden presentarse individualmente o combinadas para conseguir los objetivos de la Directiva IPPC. En el Anexo IV de la Directiva aparece una serie de consideraciones generales que deben tenerse en cuenta a la hora de determinar las MTD. Las técnicas de este capítulo se referirán a una o varias de estas consideraciones. En la medida de lo posible se utilizará una estructura estándar para resumir cada técnica y permitir realizar una comparativa de técnicas y una evaluación objetiva según la definición de MTD que aparece en la Directiva.

Tabla 4.1. Información desglosada para las técnicas descritas en el Capítulo 4

Tipo de información considerada	Tipo de información incluida
Descripción	Descripción técnica de la técnica
Ventajas medioambientales logradas	Principales impactos medioambientales que afronta la técnica (proceso o reducción), incluyendo valores de emisiones alcanzados y eficacia. Ventajas medioambientales de la técnica en comparación con otras
Efectos cruzados	Efectos colaterales e inconvenientes causados por la implementación de la técnica. Detalles sobre los problemas medioambientales de la técnica en comparación con otras
Datos operativos	Datos de rendimiento sobre emisiones/desechos y consumo (materias primas, agua y energía). Cualquier otra información útil sobre cómo utilizar, mantener y controlar la técnica, incluyendo aspectos de seguridad, restricciones de operatividad de la técnica, calidad de los resultados, etc.
Aplicabilidad	Consideración de los factores relacionados con la aplicación y retroadaptación de la técnica (por ejemplo, disponibilidad de espacio, datos específicos según el proceso)
Economía	Información sobre costes (inversión y operación) y posibles ahorros (como consumo reducido de materia prima, desechos) en relación con la capacidad de la técnica
Impulsores de la implementación	Motivos no medioambientales para la implementación de la técnica (por ejemplo, legislación, mejora de la calidad de la producción)
Ejemplos de plantas	Referencias a plantas en las que se utiliza la técnica en cuestión
Documentación de referencia	Literatura para obtener más información sobre la técnica

El contenido de este capítulo no es una lista exhaustiva de técnicas y pueden existir otras que sean igualmente válidas en el marco de las MTD.

Normalmente se utiliza una estructura estándar para resumir cada técnica, tal y como se muestra en la Tabla 4.1.

4.1. Estructura de este capítulo

Hay muchas formas posibles de estructurar este capítulo, es decir, para organizar las técnicas beneficiosas para el medioambiente que pueden emplearse en el sector de las SIC. La estructura que se utiliza más abajo es la que se considera apropiada para las SIC.

Las técnicas se presentan de acuerdo con el enfoque genérico para comprender un proceso de producción de SIC presentado en la Sección 2.1; las técnicas se han organizado, por lo tanto, bajo los encabezados siguientes:

- suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas y auxiliares,
- síntesis/reacción/calcinación,
- separación y purificación del producto,
- manipulación y almacenamiento de los productos,
- reducción de emisiones (incluyendo tratamiento del agua),
- infraestructura,
- energía,
- técnicas transfronterizas.

Las técnicas presentadas no se agrupan de acuerdo con los problemas medioambientales (por ejemplo, emisiones a la atmósfera, al agua, al suelo, eficiencia energética...) porque muchas técnicas resuelven, de forma directa o indirecta, varios de estos problemas. Tampoco se agrupan según las técnicas integradas en el proceso y las técnicas de final de línea, porque el límite entre estas dos categorías no siempre es tan claro. El lector puede consultar la Sección 2.4 y la Sección 2.5 de este documento para decidir por sí mismo si una técnica presentada en el capítulo pertenece a una categoría o a otra.

Las técnicas que podrían incluirse en varios apartados por su carácter genérico se agrupan bajo el encabezado «técnicas transfronterizas».

4.2. Suministro, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas, materias auxiliares y productos acabados

4.2.1. Reciclado o reutilización de contenedores o bidones usados

Descripción

Los proveedores de sustancias químicas y aditivos se llevan sus contenedores/bidones vacíos (hechos, por ejemplo, de plástico, madera, metal) para su reciclado o reutilización. Se utiliza el contenedor de mayor tamaño posible, teniendo en cuenta la naturaleza del material. Algunos materiales sólidos higroscópicos pueden formar bloques similares al hormigón en los contenedores grandes como consecuencia de su propia presión (por ejemplo, NaCl, FeSO₄, cianuros). Otros materiales (por ejemplo, azida de sodio, nitratos) pueden presentar riesgos de explosión o reacción química inesperada (por ejemplo, autoignición de carbón en ambientes húmedos).

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de residuos.

Efectos cruzados

Si los contenedores se devuelven sin lavar, no hay efectos cruzados.

Aplicabilidad

La técnica sólo puede aplicarse a los envases «duros», como bidones y contenedores a partir de un tamaño concreto (60 litros) y no es válida para bolsas. Sólo es posible lavar y reciclar algunas bolsas de gran tamaño en determinadas circunstancias.

Suele haber ciertas restricciones en el reciclado de contenedores/tambores debido a la naturaleza del producto transportado (por ejemplo, si es tóxico o peligroso). La reutilización de contenedores y bidones para el mismo tipo de producto no suele ser problemática. En algunos países (por ejemplo, España) cualquier contenido significativo de materias (primas y auxiliares) tóxicas o peligrosas en el envase obliga a eliminar el envase vacío como residuo tóxico.

Esta técnica es aplicable en instalaciones nuevas y ya existentes. Según el origen geográfico de los contenedores y bidones, esta técnica podría no ser viable desde el punto económico.

Economía

Los datos económicos difieren de un emplazamiento a otro y dependen de las condiciones acordadas con el proveedor.

Impulsores de la implementación

- Esquemas de prevención y reciclado para regulaciones de residuos de envases y otros residuos.

Ejemplos de plantas

- Planta de Clariant, Alemania.

Documentación de referencia

[9, Vito, 2001]

4.2.2. Reciclado de materiales de envasado «blandos»

Descripción

Algunas empresas (por ejemplo, en Alemania) poseen un número elevado de puntos de recogida a los que los productores de SIC pueden llevar los materiales de envasado «blandos» (hechos, por ejemplo, de plástico, madera, papel) de sus proveedores de sustancias químicas y aditivos. Posteriormente, estas empresas reciclan los materiales que recogen materialmente (por ejemplo, fábricas de papel, reciclado de plásticos) o los oxidan térmicamente (se incineran).

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la cantidad de residuos.

Efectos cruzados

Si los materiales de envase «blandos» se devuelven sin lavar, puede haber efectos cruzados:

- liberación de contaminantes a la atmósfera o al agua en el lugar en el que se recicla el envase (por ejemplo, fábrica papelera, incineradora) debido a los contaminantes que quedan en el envase «blando».

Aplicabilidad

Este procedimiento puede aplicarse a materiales de envase pequeños y «blandos» que no pueden lavarse para su reutilización y que no están contaminados con sustancias tóxicas o peligrosas.

Economía

Las empresas de SIC que utilizan los servicios de empresas de reciclado de materiales de envase pagan tasas de licencia para todos los materiales de envase «blandos» que se venden en Alemania.

Impulsores de la implementación

Esquemas de prevención y reciclado de residuos de la normativa de residuos y residuos de envases para cumplir los requisitos de la «Verpackungsverordnung» (Ordenanza alemana sobre envases).

Ejemplos de plantas

- Planta de Clariant, Alemania.

4.2.3. Almacenamiento de gas líquido y gas licuado

Las técnicas que normalmente se considera que tienen el potencial de alcanzar un nivel elevado de protección medioambiental, en el sector de las SIC, en relación con el almacenamiento de gas líquido y gas licuado se describen en la Sección 4.1 del BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

4.2.4. Transferencia y manipulación de gas líquido y gas licuado

Las técnicas que normalmente se considera que tienen el potencial de alcanzar un nivel elevado de protección medioambiental en el sector de las SIC en relación con la transferencia y manipulación de gas líquido y gas licuado se describen en la Sección 4.2 del BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

4.2.5. Almacenamiento de sólidos

Las técnicas que normalmente se considera que tienen el potencial de alcanzar un nivel elevado de protección medioambiental en el sector de las SIC en rela-

ción con el almacenamiento de sólidos se describen en la Sección 4.3 del BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

4.2.6. Manipulación de sólidos

Las técnicas que normalmente se considera que tienen el potencial de alcanzar un nivel elevado de protección medioambiental en el sector de las SIC en relación con la manipulación de sólidos se describen en la Sección 4.4 del BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

4.3. Síntesis/reacción/calcinación

4.3.1. Sustitución de materias primas

Descripción

Dado que las impurezas en el caudal de alimentación contribuyen a la generación de residuos, una de las sustituciones más comunes es utilizar una materia prima de elevada pureza.

Esto se consigue combinando las medidas siguientes:

- trabajar con los proveedores para obtener una alimentación de mayor calidad,
- instalar equipos de purificación en la instalación,
- sustituir las materias primas por materiales menos tóxicos y materiales menos solubles en agua para reducir la contaminación del agua, y materiales menos volátiles para reducir las emisiones fugitivas.

Ventajas medioambientales logradas

La sustitución o la eliminación de algunas de las materias primas que se utilizan en la producción de las SIC puede conllevar las ventajas siguientes:

- reducción de la cantidad de residuos generados,
- reducción de las emisiones a la atmósfera,
- reducción de las emisiones en el agua receptora.

Efectos cruzados

- Uso de energía y materiales para purificar las materias primas.

Aplicabilidad

La aplicabilidad depende, en concreto, del coste de las materias primas sustitutivas o del coste del equipo de purificación necesario en la instalación para depurar las materias primas.

La sustitución de las materias primas puede no ser posible en la producción de explosivos (véase la Sección 6.4) porque las impurezas pueden ser de gran importancia para la obtención del producto requerido bajo todas las condiciones de seguridad (por ejemplo, efecto sobre la forma y el tamaño de los cristales).

Economía

Coste de la instalación y el uso del equipo de purificación en el emplazamiento.

La sustitución o eliminación de algunas de las materias primas utilizadas puede comportar ahorros económicos en el tratamiento de los residuos. Sin embargo, esto se equilibra con el incremento de costes resultante de la adquisición de una materia prima más pura.

Impulsores de la implementación

El tiempo de producción se reduce cuando la frecuencia de lavado es menor.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania (véase la Sección 6.5.4.10).
- Plantas de producción de tricloruro de fósforo (PCl_3) (véanse las Secciones 6.2.2.2.1.1 y 6.2.4.4): el uso de fósforo (P_4) como materia prima con bajo contenido de impurezas orgánicas dará como resultado una cantidad menor de masa de carbón alquitranado remanente en el reactor por cada tonelada de PCl_3 producido.

4.3.2. Mejora de la eficacia del reactor

Descripción

Uno de los parámetros más importantes que establecen la eficacia del reactor es la calidad de la mezcla.

Para mejorar la mezcla pueden combinarse las medidas siguientes:

- instalación de deflectores en el reactor,
- instalación de un motor con las revoluciones (rpm) apropiadas para el agitador (en algunos casos supondrá instalar un motor de más rpm, pero en otros casos un motor de menos rpm, por ejemplo: en un medio viscoso, una agitación con más rpm puede reducir la eficacia de la mezcla, por ejemplo, debido al efecto de la cavitación),
- implantación de un diseño diferente de palas de mezcla,
- instalación de múltiples impulsores,
- recirculación de bomba,
- adición de un distribuidor de alimentación para nivelar el tiempo de residencia a través del reactor,
- adición de caudales de alimentación en el momento más cercano en el que se produce la concentración ideal del reactivo.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducir el consumo de materias primas,
- Evitar reacciones secundarias que forman subproductos indeseados.

Efectos cruzados

- La forma y el número de placas mezcladoras y las revoluciones por minuto de los motores influyen en el consumo de energía.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Coste derivado de la instalación de equipos nuevos (por ejemplo, deflectores o motores con alta velocidad de rotación).

Impulsores de la implementación

Reducción de los costes de producción gracias a un mejor rendimiento y a la generación de menos residuos.

4.3.3. Mejora de los sistemas de catálisis

Descripción

El sistema catalizador juega un papel central en la eficacia de las conversiones químicas en el reactor.

Para mejorar el sistema catalizador pueden combinarse las medidas siguientes:

- uso de productos químicos suplementarios alternativos con otras características físicas (para mejorar sustancialmente la eficacia y la vida del sistema catalizador),
- uso de un sistema de catalizadores que permita eliminar o reducir la formación de subproductos,
- uso de catalizadores de metales nobles en lugar de catalizadores de metales pesados (para eliminar o reducir la cantidad de agua residual contaminada con metales pesados),
- uso de una forma de catalizador más activa (para eliminar o reducir las emisiones y efluentes durante la activación del catalizador).

Ventajas medioambientales logradas

- consumo reducido de catalizadores,
- eliminación o reducción de la formación de residuos o subproductos,
- reducción del contenido de metales pesados en el agua residual,
- reducción o eliminación de las emisiones y efluentes durante la activación del catalizador,
- menor demanda energética de la reacción.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

Aplicable, por regla general, a procesos de reacción que utilizan un catalizador o pueden utilizar técnicamente un sistema de catalizador.

4.3.4. Optimización de los procesos

Descripción

Los cambios en el proceso que optimizan las reacciones y el uso de las materias primas reducen la generación y la liberación de residuos. Muchas instalaciones

de SIC utilizan sistemas controlados por ordenador que analizan el proceso constantemente y responden con mayor celeridad y precisión que los sistemas de control manuales. Estos sistemas suelen ser capaces de puestas en marcha y paradas automáticas, y cambios de productos que pueden llevar el proceso a una condición estable rápidamente, minimizando la generación de productos que no cumplen las especificaciones.

Otras medidas para la optimización de los procesos incluyen:

- nivelar las tuberías de ventilación del reactor y del depósito de almacenamiento durante el llenado de carga para minimizar las pérdidas de gas,
- secuenciar la adición de reactivos para optimizar los resultados, reducir las emisiones y los residuos (para procesos discontinuos),
- optimizar las secuencias para minimizar las operaciones de limpieza y la contaminación cruzada de cargas posteriores (para procesos discontinuos).

Ventajas medioambientales logradas

- reducción de las emisiones a la atmósfera
- reducción de los vertidos al agua
- reducción del consumo de agua
- reducción de residuos

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

4.4. Reducción de las emisiones

Esta sección se divide en:

- técnicas de tratamiento de aguas residuales (véase la Sección 4.4.1);
- técnicas de tratamiento de gas residual (véase la Sección 4.4.2);
- técnicas combinadas de tratamiento de agua residual y gas residual (véase la Sección 4.4.3);
- técnicas de tratamiento de residuos líquidos (no acuosos) y sólidos (véase la Sección 4.4.4).

4.4.1. Técnicas de tratamiento del agua residual

[21, European IPPC Bureau, 2003]

Para introducir un orden lógico en la descripción de las técnicas de tratamiento del agua residual, se toma como referencia la relación entre el contaminante y su respectiva tecnología de tratamiento típica, tal y como se indica en la Sección 2.5.3 y Tabla 2.3. En la Figura 4.1 se describen las vías de contaminantes que deben controlarse en el agua residual.

La **primera etapa de tratamiento** para el agua residual y el agua pluvial, y en ocasiones también la etapa final, consiste en la separación de los sólidos en suspensión del caudal de agua empleando **técnicas de separación o clarificación**.

Las técnicas de separación o clarificación que pueden utilizarse en el sector de las SIC son:

- sedimentación de sólidos (véase la Sección 4.4.1.1.1);
- flotación por aire (véase la Sección 4.4.1.1.2);
- filtración (véase la Sección 4.4.1.1.3);
- filtración a través de membrana (microfiltración o ultrafiltración) (véase la Sección 4.4.1.1.4).

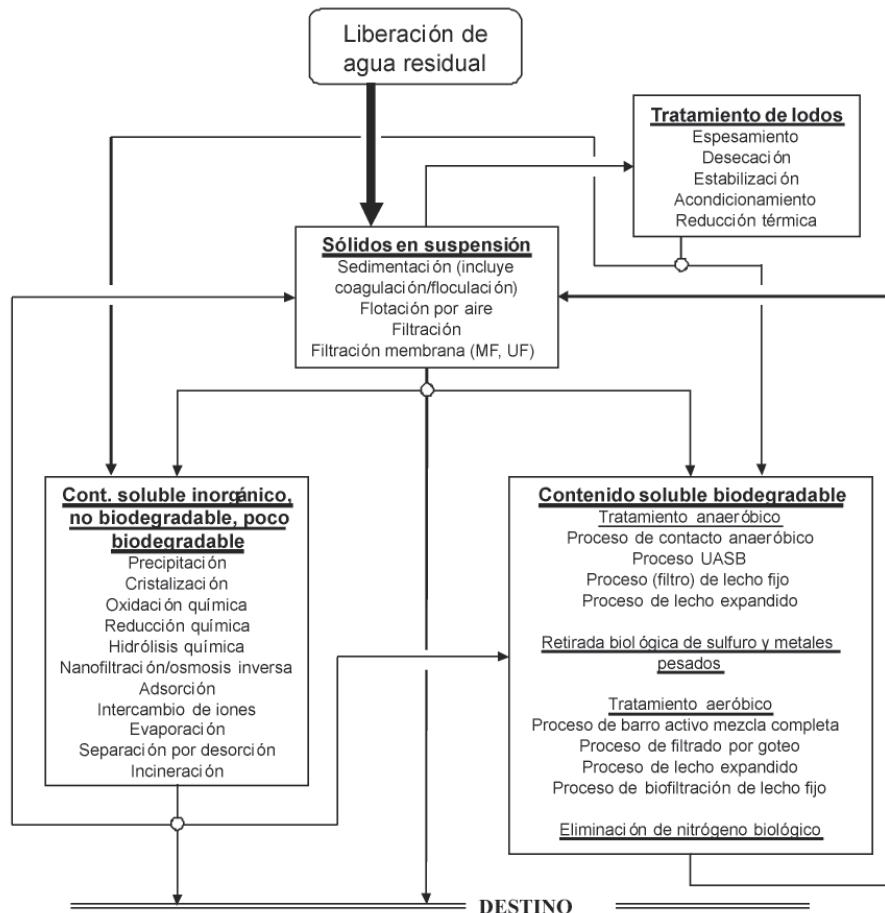
Estas técnicas se utilizan principalmente en combinación con otras operaciones, ya sea como primera etapa de la clarificación o como etapa final. Como primera etapa, protegen a otras instalaciones de tratamiento del agua residual contra daños, obturación o incrustaciones sólidas. Como etapa final, eliminan los sólidos que se forman durante un proceso o una operación previa de tratamiento, o eliminan el petróleo antes del tratamiento biológico posterior. Con frecuencia siguen técnicas de tratamiento aplicadas a contaminantes solubles, cuando estos se transfieren a sólidos (por ejemplo, precipitación).

El agua residual sin residuos sólidos (sin petróleo) puede separarse en una parte biodegradable y una parte no biodegradable, o bien pueden separarse los contaminantes no biodegradables antes de someterla a un tratamiento posterior.

Las técnicas de tratamiento para la parte del agua residual no biodegradable están basadas en **operaciones físicas o químicas**, como:

- precipitación/sedimentación/filtración (véanse las secciones 4.4.1.2.1, 4.4.1.1.1, y 4.4.1.1.3);
- cristalización (véase la Sección 4.4.1.2.2);
- oxidación química (véase la Sección 4.4.1.2.3);
- reducción química (véase la Sección 4.4.1.2.4);
- nanofiltración/osmosis inversa (véase la Sección 4.4.1.2.5);

Figura 4.1. Técnicas de tratamiento del agua residual en relación con los contaminantes



- adsorción (véase la Sección 4.4.1.2.6);
- intercambio de iones (véase la Sección 4.4.1.2.7);
- evaporación (véase la Sección 4.4.1.2.8);
- desorción (véase la Sección 4.4.1.2.9);
- incineración (véase la Sección 4.4.1.2.10).

Tras un tratamiento apropiado en la instalación de SIC, el caudal de agua residual puede descargarse en un caudal de agua receptora o bien en una depuradora central o municipal.

En el sector de las SIC, la mayoría del contenido del agua residual es inorgánico y no biodegradable.

El agua residual biodegradable (o la parte remanente de agua residual tras la eliminación del contaminante no biodegradable) se somete normalmente a técnicas de tratamiento, centralizadas o descentralizadas, basadas en procesos biológicos como:

- biológico anaeróbico
- biológico aeróbico
- nitrificación/desnitrificación.

Estos procesos biológicos se describen en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

El agua residual degradada sale de la planta de tratamiento biológico y se canaliza hacia una instalación de clarificación.

Muchas técnicas de tratamiento del agua residual requieren o utilizan opcionalmente medios de tratamiento, normalmente químicos. El equipo de tratamiento requiere con frecuencia una regeneración que puede provocar la liberación de sustancias químicas. Estos medios o etapas pueden generar, según las condiciones locales, una contaminación que deberá tenerse en cuenta a la hora de decidirse a usar una técnica de tratamiento. Por lo tanto, en casos específicos, es necesaria la evaluación de los medios de tratamiento y de las sustancias químicas liberadas por las instalaciones de regeneración y su destino durante todo el proceso.

Prácticamente todas las técnicas de tratamiento del agua residual tienen una cosa en común: la producción de sólidos durante el proceso, que permite separar el contaminante del medio acuoso, como lodo activado aeróbico o residuos filtrados o depositados de operaciones de filtración o sedimentación. Si el lodo no se recicla, debe eliminarse (tratamiento y eliminación externa) o tratarse *in situ*. Las técnicas de tratamiento de lodos son, por ejemplo,

- espesamiento (véase la Sección 4.4.4.1)
- desecación (véase la Sección 4.4.4.1)
- estabilización (véase la Sección 4.4.4.2)
- condicionamiento (véase la Sección 4.4.4.2)
- reducción térmica de lodos (véase la Sección 4.4.4.3).

4.4.1.1. TÉCNICAS DE SEPARACIÓN O CLARIFICACIÓN

4.4.1.1.1. *Sedimentación (incluyendo coagulación/floculación) de sólidos*

Descripción

La sedimentación (o clarificación) se refiere a la separación de las partículas en suspensión y los materiales en suspensión mediante sedimentación gravitacional.

Los sólidos depositados se retiran del fondo en forma de lodo, mientras que los materiales en suspensión se recogen de la superficie del agua. Cuando no es posible separar las partículas utilizando medios gravitacionales sencillos (por ejemplo, cuando son demasiado pequeñas, su densidad es demasiado próxima a la del agua o forman coloides), se añaden sustancias químicas especiales para que los sólidos se depositen (por ejemplo, sulfato de aluminio, sulfato férrico, cloruro férrico).

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas y las desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Separación de metales pesados u otros componentes disueltos tras una precipitación anterior (véase la Sección 4.4.1.2.1), con frecuencia con ayuda química (por ejemplo, floculante), seguida de procesos de filtración (véanse las secciones 4.4.1.1.3 y 4.4.1.1.4).
- Depuración del agua pluvial recogida mediante la separación de contenidos sólidos como arena o polvo en un tanque de sedimentación.
- Depuración del agua residual del proceso mediante la separación del material de reacción como compuestos metálicos emulsionados, con la ayuda de las sustancias químicas apropiadas.

Efectos cruzados

- El barro sedimentado y la escoria, no apropiados para el reciclaje u otros usos, debe eliminarse como residuo. Según el origen del agua residual, el residuo puede contener compuestos peligrosos que deberán tratarse adecuadamente. Estos compuestos pueden ser carbonatos, fluoruros, sulfuros o hidróxidos (u óxidos) de metales pesados, escoria aceitosa, etc.
- Consumo de sustancias químicas (coagulante/floculante).
- Consumo de energía.
- Las emisiones de ruido y malos olores pueden ser un problema.

Datos operativos

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- OMG en Harjavalta, Finlandia.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.1.2. *Flotación por aire*

Descripción

La flotación es un proceso mediante el que se separan las partículas sólidas o líquidas de la fase de agua residual cuando se quedan adheridas a burbujas de aire. Las partículas flotantes se acumulan en la superficie del agua y se retiran por distintos medios mecánicos.

Para favorecer el proceso de flotación suelen utilizarse aditivos floculantes (como sales férricas y de aluminio, sílice activo y diversos polímeros orgánicos). Su función, además de la coagulación y la floculación, es crear una superficie o una estructura capaz de absorber o atrapar las burbujas de aire.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, límites, restricciones, ventajas y desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Separación de metales pesados de las aguas residuales.
- Eliminación de pigmentos de las aguas residuales.
- Recuperación de producto y materia prima, por ejemplo, haluros de plata en la producción de químicos fotográficos.

Efectos cruzados

- El material separado, si no es reciclable, se elimina como residuo. La cantidad depende del material que deba eliminarse y de la cantidad de sustancias

- químicas coagulantes y floculantes. Pueden ser muy diferentes según la aplicación de la flotación por aire.
- Consumo de sustancias químicas (coagulante y floculante).
 - Consumo de energía.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.1.3. *Filtración*

Descripción

La filtración describe la separación de los sólidos de los efluentes de agua residual al pasar a través de un medio poroso. Los filtros suelen requerir una operación de lavado con flujo inverso de agua dulce y el material acumulado se devuelve al tanque de sedimentación (véase la Sección 4.4.1.1.1).

Los tipos de sistemas de filtro más utilizados son, por ejemplo,

- el filtro en medio granular, o filtro de arena, que se utiliza frecuentemente como dispositivo de tratamiento del agua residual (el medio de los filtros de arena no debe ser necesariamente la arena), utilizado principalmente con un contenido de sólidos bajo;
- el filtro de tambor por gravedad, utilizado para el tratamiento de residuos y para eliminar floculaciones de lodo activas, cuya eficacia depende del tejido filtrante;
- el filtro rotatorio de vacío, apropiado para la filtración prerevestimiento, que se utiliza para la desecación de lodos aceitosos y para la desemulsificación húmeda;
- el filtro de membrana (véase la Sección 4.4.1.1.4);
- el filtro de banda, que se utiliza principalmente para la desecación de lodos, pero también para la separación de líquido/sólido;

- el filtro prensa, que suele utilizarse para la desecación de lodos, pero también para la separación de líquido/sólido, apropiado para un contenido de sólidos elevado.

En el tratamiento del agua residual, la filtración suele emplearse como la etapa de separación final tras los procesos de sedimentación (véase la Sección 4.4.1.1.1) o flotación (véase la Sección 4.4.1.1.2) cuando se buscan emisiones bajas de partículas.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, límites, restricciones, ventajas y desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- separación de floculante, hidróxidos de metales pesados, etc. tras la sedimentación, para cumplir los requisitos de descarga;
- desecación de lodos, material en suspensión, etc.

Efectos cruzados

- consumo de agua para lavado,
- materias filtrantes,
- energía,
- las emisiones de ruido y malos olores pueden ser un problema.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

1.4.1.1.4. *Filtración a través de membrana (microfiltración o ultrafiltración)*

Descripción

La microfiltración (MF) y la ultrafiltración (UF) son procesos de separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos. La fuerza impulsora del proceso es la diferencia de presión a lo largo de la membrana.

Las membranas utilizadas para los procesos de MF y UF son membranas de tipo poroso que funcionan como tamices. Los solventes y partículas de tamaño molecular pueden pasar a través de los poros, mientras que las partículas en suspensión, las partículas coloidales, las bacterias, los virus e incluso las macromoléculas más grandes quedan retenidas.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, límites, restricciones, ventajas y desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

La filtración por membranas (MF y UF) se aplica cuando se desea obtener un agua residual sin sólidos para instalaciones fabriles (por ejemplo, osmosis inversa), o cuando se desea eliminar completamente todas las sustancias contaminantes peligrosas (como los metales pesados). La elección entre MF y UF depende del tamaño de partícula.

Efectos cruzados

- consumo de material de membrana;
- el tratamiento de la membrana produce un residuo (concentrado) con aproximadamente un 10% del volumen original alimentado, que en las sustancias de destino están presentes en niveles de aproximadamente 10 veces su concentración en la alimentación original. Es preciso evaluar si puede eliminarse este residuo;
- consumo de sustancias químicas (por ejemplo, productos para inhibir la formación de incrustaciones);
- consumo de energía.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2. TÉCNICAS FÍSICAS O QUÍMICAS

4.4.1.2.1. *Precipitación*

Descripción

La precipitación es un medio químico de formación de partículas que pueden separarse mediante un proceso adicional, como la sedimentación (véase la Sección 4.4.1.1.1), la flotación por aire (véase la Sección 4.4.1.1.2), la filtración (véase la Sección 4.4.1.1.3) y, si es necesario, la posterior microfiltración o ultrafiltración (véase la Sección 4.4.1.1.4). La separación mediante técnicas de membrana podría ser necesaria para proteger las instalaciones fabriles o para evitar la descarga de partículas peligrosas. También podría ser una técnica útil para eliminar precipitados coloidales (por ejemplo, sulfuros de metales pesados).

Una instalación de precipitación normalmente consiste en uno o dos tanques agitados de mezcla, en los que se agrega el agente y otras sustancias químicas, un tanque de sedimentación y un tanque de almacenamiento para los agentes químicos. Cuando es necesario, tal y como se menciona más arriba, se usan otros equipos de tratamiento. El tanque de sedimentación podría sustituirse por otros sistemas de recogida de lodo.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas y las desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

Cuando se utiliza junto con otras técnicas, la precipitación permite:

- la reducción del contenido de metales pesados, sulfatos y fluoruros en el agua residual descargada;
- la posibilidad de recuperar metales pesados y reciclarlos en la producción de SIC o en producciones fuera de la instalación SIC.

Efectos cruzados

Los principales efectos cruzados son:

- el consumo de sustancias químicas de precipitación (por ejemplo, cal, dolomita, hidróxido de sodio, carbonato sódico, ácido sulfúrico), floculantes o coagulantes;
- el consumo de sustancias químicas para regular el pH (por ejemplo, NaOH, H_2SO_4);
- los precipitadores normalmente deben eliminarse en forma de lodo.

El ruido y el olor pueden convertirse en un problema. Para obtener más información, véase el documento BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Datos operativos asociados al uso de técnicas de precipitación

Parámetro	Índice de rendimiento (%)	Nivel de emisión (mg/l)	Precipitación química	Floculantes	Coagulantes	Observaciones
Aluminio		0 – 5,8 ⁷				
Cadmio		<0,01 ⁷				
Cromo (III)						
Cromo (VI)		<0,1 ⁵				
Cromo total		0,1 ³ 0,08 ⁴ <0,05 ⁷ 1 – 2,5 ⁵				
Cobalto		0,07 ⁴				
Cobre		0,01 ⁴ 0 – 0,08 ⁷				
Fluorita		<50 ⁶	Ca(OH) ₂			Sin NH ₃ libre u otro Ca ²⁺ agentes complejantes
Hierro						
Plomo	99,6 ¹ – 99,95 ¹ 46,6 ² – 76,4 ²	<0,05 ⁷ 0,5 ³ 0,05 ⁴ 5 ¹ – 15 ¹ 0,002 ² – 0,004 ²	Na ₂ CO ₃ ¹ , H ₂ SO ₄ ¹		Fe(III) y sales de Al	
Mercurio						
Níquel						
Fosfato						
Sulfato		2000 ³ 92 – 530 ⁷				
Estaño						
Cinc		0,13 ⁴ 0,08 – 0,46 ⁷				

¹ Los valores obtenidos en una instalación de SIC antes de la descarga a una depuradora cuando el plomo es el único contaminante inorgánico en el agua residual

² Valores obtenidos en una instalación de SIC cuando el plomo está presente junto con cloruro, fluorita, boro, vanadio, manganeso y cinc en el agua residual

³ Media anual de una instalación de SIC tras el pretratamiento y antes de la descarga a una depuradora biológica

⁴ Medición de una instalación de SIC tras el pretratamiento y antes de la descarga a una depuradora municipal

⁵ De una instalación de SIC tras el pretratamiento y antes de la descarga a una depuradora central

⁶ Comentario del grupo de trabajo

⁷ Véase Tabla 6.10

Los niveles de emisiones para metales pesados varían enormemente, según la situación particular, como:

- la eliminación de una especie de metal pesado concreta de una matriz de agua residual inorgánica;
- la eliminación de una mezcla de metal pesado de una matriz de agua residual inorgánica;
- la eliminación de metales pesados de una matriz de agua residual orgánica con una tendencia a formarse complejos metálicos, por ejemplo, agentes colorantes.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Ejemplos de plantas

- Planta UEB en Galdácano, España
- Planta de Colorobbia, Italia.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.2. *Cristalización*

Descripción

La cristalización está relacionada con la precipitación. A diferencia de la precipitación, el precipitado no se forma mediante una reacción química en el agua residual, sino que se produce en el material original (arena, minerales...) trabajando en un proceso de lecho fluidificado, un sistema de reactor de gránulos. Los gránulos crecen y se desplazan hacia la parte inferior del reactor. La fuerza impulsora del proceso es la dosificación del reactivo y el ajuste del pH. No se producen lodos residuales.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas y las desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción o recuperación de metales pesados.

Efectos cruzados

- Consumo de reactivos para formar los precipitados.
- Presencia del reactivo en el agua residual.
- Ruido.

Datos operativos

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.3. *Oxidación química*

Descripción

La oxidación química es la conversión de contaminantes mediante agentes de oxidación química (que no sean el oxígeno/aire ni bacterias) a otros compuestos similares pero menos nocivos o peligrosos, o bien a componentes orgánicos de cadena corta que sean fácilmente biodegradables.

La oxidación química suele aplicarse cuando el agua residual contiene contaminantes que no son fácilmente biodegradables o no son biodegradables en absoluto (por ejemplo, componentes inorgánicos). Esto podría entorpecer el proceso biológico o psico-químico de una depuradora o tener propiedades demasiado nocivas para poder liberarlos en un sistema de alcantarillado común.

Las reacciones de oxidación con oxígeno activo (ozono, peróxido de hidrógeno), normalmente acompañadas por la radiación UV, se utilizan, por ej. para el tratamiento de lixiviados de vertederos o para eliminar la demanda química de oxígeno (DQO) refractaria, componentes que producen mal olor o pigmentos de color. Las reacciones de oxidación se utilizan para el tratamiento de aguas residuales que contienen cianuros (véase la Sección 6.5.4.1).

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas y las desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Conversión de contaminantes a compuestos menos nocivos o peligrosos.

Efectos cruzados

- Uso de agente de oxidación (por ejemplo, peróxido de hidrógeno).

Datos operativos

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- Planta CyPlus, Alemania.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.4. **Reducción química**

Descripción

La reducción química es la conversión de contaminantes mediante agentes de reducción química a compuestos similares pero menos nocivos o peligrosos. Como agentes reductores químicos, podemos mencionar a modo de ejemplo:

- el dióxido de azufre
- el sulfito de hidrógeno sódico / metabisulfito
- el sulfato férrico
- el sulfuro sódico y el sulfito de hidrógeno sódico
- la urea o el ácido amidosulfónico (con ph bajo).

Estos agentes entran en contacto con los residuos en las condiciones apropiadas de pH y concentración. La reducción química normalmente da como resultado productos que pueden ser tratados más fácilmente en instalaciones fabriles, por ejemplo, mediante una precipitación química. La reducción química se emplea para el tratamiento de aguas residuales que contienen cromo (VI) en la producción de algunas especialidades de pigmentos inorgánicos (véase la Sección 6.1).

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas y las desventajas de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Conversión de contaminantes a compuestos menos nocivos o peligrosos.

Como ejemplos de contaminantes, podemos mencionar:

- el cromo (VI), que se reduce a cromo (III);
- el cloro o hipoclorito, que se reducen a cloruro;
- el peróxido de hidrógeno, que se reduce a agua y oxígeno;
- el nitrito, utilizando urea o ácido amidosulfónico con un ph bajo.

Efectos cruzados

- uso de agente reductor (por ejemplo, dióxido de azufre, sulfato férrico).

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.5. Nanofiltración (NF) / Osmosis inversa (OI)

Descripción

Un proceso de membrana consiste en la penetración de un líquido a través de una membrana que se separará en un permeado, que pasa por la membrana, y un concentrado, que queda atrapado. La fuerza impulsora de este proceso es la diferencia de presión a lo largo de la membrana.

Las membranas de NF y OI pueden retener cualquier partícula, incluso del tamaño de moléculas orgánicas o iones. Siempre y cuando la alimentación no contenga partículas, estas membranas se utilizan cuando se desea un reciclado completo del permeado y/o del concentrado.

La NF se aplica para eliminar moléculas orgánicas grandes e iones multivalentes para reciclar y reutilizar el agua residual, o bien para reducir su volumen y, al mismo tiempo, incrementar la concentración de contaminantes de tal modo que sea posible realizar procesos de destrucción posteriores.

La OI es un proceso que permite separar el agua y los constituyentes disueltos hasta especies iónicas. Se aplica cuando se requiere un elevado grado de pureza. El agua separada se recicla y se reutiliza. Un ejemplo de ello es la eliminación final de metales pesados.

La NF y la OI suelen utilizarse en combinación con técnicas de tratamiento posterior para el permeado, por ejemplo, intercambio de iones o adsorción de GAC.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de metales pesados del agua residual.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.6. Adsorción

Descripción

La adsorción es la transferencia de sustancias solubles (solutos) de la fase de agua residual a la superficie de partículas sólidas muy porosas (el adsorbente). El adsorbente tiene una capacidad finita para eliminar cada compuesto. Cuando se agota esta capacidad, el adsorbente está agotado y debe sustituirse por material nuevo. El adsorbente agotado deberá regenerarse o incinerarse.

El carbón activo es el adsorbente más habitual para la purificación del agua residual en el sector de las SIC. Se utiliza como granulado (GAC) en columnas o en forma de polvo (PAC) dosificado en un tanque o balsa de tratamiento. Otros adsorbentes inorgánicos comunes son la alúmina activa o el hidróxido férrico granular, apropiado para la eliminación de aniones (por ejemplo, fosfato, arsenato, antimonito).

Dado que la superficie activa del adsorbente suele ser propensa a la obturación y al bloqueo, es preciso que el agua residual no tenga contenido sólido, con lo cual suele ser necesaria una etapa de filtración previa.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de metales pesados del agua residual;
- Eliminación de DQO y de las partículas que causan la coloración del agua residual.

Efectos cruzados

- Consumo de adsorbente (por ejemplo, carbón activo).
- Consumo de energía y/o sustancias químicas para regenerar el adsorbente.
- Liberación de contaminantes al agua y/o a la atmósfera durante el proceso de regeneración.
- Eliminación del adsorbente si no puede regenerarse.

Para obtener más información sobre los efectos cruzados, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Datos operativos asociados al uso de la técnica de adsorción

Parámetro	Índice de rendimiento	Emisión emisión	Observaciones
	%	mg/l	
DQO	60 ¹	<600 ¹	GAC, temperatura ambiente

¹ Datos de la planta UEB, Galdácano, España

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Impulsores de la implementación

Reducción de los niveles de DQO y eliminación de las partículas que causan la coloración de las aguas residuales.

Ejemplos de plantas

- Planta UEB en Galdácano, España.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.7. Intercambio de iones

Descripción

El intercambio de iones se refiere a la eliminación de constituyentes iónicos indeseados o peligrosos del agua residual y su sustitución por iones más aceptables de una resina de intercambio de iones, donde se retienen de forma temporal y posteriormente se liberan en un líquido de regeneración o lavado.

El intercambio de iones puede ser un tratamiento de final de línea, pero su gran valor reside en su potencial de recuperación. Suele utilizarse como una operación integrada en el tratamiento del agua residual, por ejemplo, para recuperar el agua de enjuagado y sustancias químicas del proceso.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación del agua residual de iones de metales pesados (catiónico o aniónico, por ejemplo, Cr_3^+ o cadmio y sus compuestos, con bajas concentraciones de alimentación, CrO_4^{2-} también con altas concentraciones de alimentación).
- Compuestos inorgánicos ionizables, como el H_3BO_3 .

Efectos cruzados

- Consumo de resinas de intercambio de iones.
- Consumo de energía y sustancias químicas para regenerar las resinas.
- Liberación de contaminantes al agua durante el proceso de regeneración.

Para obtener más información sobre los efectos cruzados, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.8. Evaporación

Descripción

La evaporación del agua residual es un proceso de destilación en el que el agua es la sustancia volátil que abandona el concentrado que debe eliminarse como residuo en la parte inferior. El objetivo de esta operación es reducir el volumen de agua residual o concentrar licores madre. El flujo volátil se recoge en un condensador y el agua condensada se recicla (si es necesario, tras un tratamiento posterior).

Las operaciones en vacío reducen la temperatura de ebullición y permiten el reciclado de sustancias que, de otro modo, se descompondrían.

Si el objetivo principal es la recuperación de material, antes de iniciar la evaporación deberá pasarse por una operación de tratamiento previa. Ejemplos de tratamientos previos:

- adición de ácidos, bases, etc. para reducir la volatilidad de los compuestos moleculares;
- separación de las fases insolubles, de líquido libre, por ejemplo, aceite;
- operaciones químicas/físicas para separar metales pesados u otros sólidos.

Si el concentrado no se recicla, se requiere un tratamiento posterior, por ejemplo, la incineración, tras la evaporación.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Recuperación de sustancias valiosas.
- Eliminación de contaminantes del efluente de aguas residuales.

Efectos cruzados

- Consumo de energía.

Para obtener más información sobre los efectos cruzados, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- Planta Austin, República Checa (véase la Sección 6.4.4.2).

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.9. Separación por desorción

Descripción

La separación del agua residual por desorción es una operación que consiste en poner el agua residual en contacto con un caudal grande de una corriente de gas para transferir los contaminantes volátiles de la fase acuosa a la fase gaseosa. Los contaminantes se eliminan del gas de desorción de forma que puedan reciclararse en el proceso y reutilizarse. Los compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles se transfieren del agua residual al gas residual, incrementando enormemente el área superficial del agua contaminada expuesta. La evaporación del agua, sin embargo, reduce la temperatura del agua residual y, por lo tanto, también reduce la volatilidad de los contaminantes.

La separación por desorción se aplica para separar contaminantes volátiles del agua, por ejemplo,

- amoníaco y sulfuro de hidrógeno, cuya volatilidad depende en gran medida de la temperatura y del pH, con lo que el control del pH es esencial ($\text{pH} > 9,5$ con el amoníaco, pH entre 2 y 3 en el caso del sulfuro de hidrógeno);
- el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno juntos en una unidad de separación por desorción de dos etapas.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Recuperación de sustancias valiosas.
- Eliminación de contaminantes del efluente de aguas residuales.

Efectos cruzados

- Consumo de energía.
- Consumo de sustancias químicas para ajustar el ph.
- Consumo de agentes para inhibir la formación de incrustaciones.

La separación por desorción no se utiliza como proceso individual; necesita como mínimo un tratamiento de gas descendente. Las sustancias volátiles eliminadas pueden reciclarse en un proceso de producción o tratarse mediante operaciones de lavado, adsorción, oxidación térmica o catalítica. Por regla general, el tratamiento del gas de desorción es una fase esencial del proceso y en ocasiones es más complicado que el proceso de desorción. Para obtener buenos resultados, es preciso ajustar con precisión la fase de desorción y el tratamiento del gas de desorción.

Para obtener más información sobre los efectos cruzados, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.1.2.10. *Incineración*

Descripción

La incineración del agua residual es la oxidación con aire de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua residual y la evaporación simultánea de la parte acuosa a presión normal y en un intervalo de temperaturas de entre 730 y 1200 °C, o por debajo de este intervalo cuando se utilizan catalizadores. En la industria química, la incineración del agua residual suele efectuarse centralmente o bien en incineradoras de residuos (co-incineración). Los productos de la reacción son dióxido de carbono, agua y otros compuestos inorgánicos (óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, haluros de hidrógeno, fosfatos, compuestos de metales pesados), dependiendo de los contaminantes presentes.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de las aguas residuales contaminadas.

Efectos cruzados

- Consumo de combustible auxiliar (cuando el proceso no puede ser adiabático).
- Generación de gas residual en la incineración (emisiones gaseosas de la combustión que podrían contener HCl, SO_x, NO_x, etc.).

Para obtener más información sobre los efectos cruzados, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

La técnica puede aplicarse si el agua residual contaminada:

- No es fácilmente biodegradable.
- Entorpece el proceso biológico en una depuradora biológica.
- Tiene propiedades demasiado nocivas para ser liberada en un sistema de alcantarillado normal.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- La producción de LANXESS de compuestos de fósforo en Leverkusen, Alemania.

Documentación de referencia

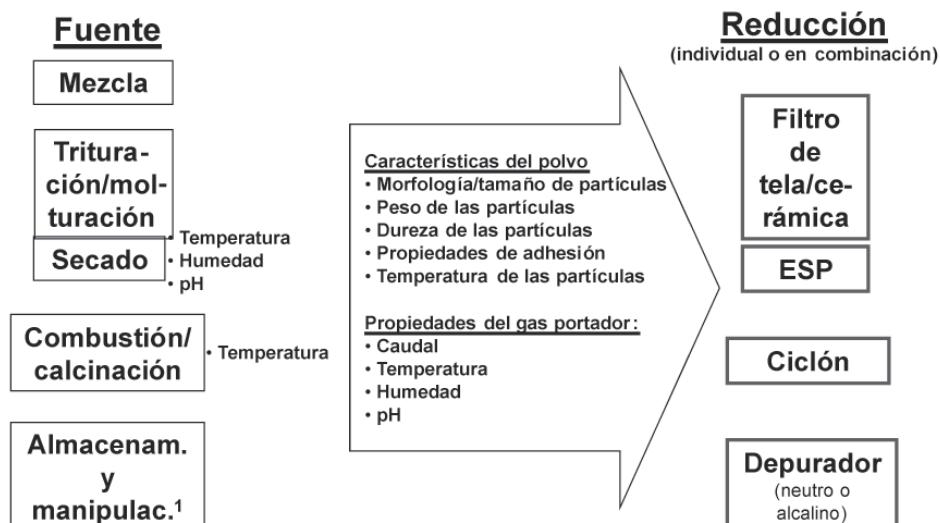
BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2. Técnicas de tratamiento del gas residual

4.4.2.1. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DEL GAS RESIDUAL PARA LA REDUCCIÓN DE PARTÍCULAS

El polvo se considera un problema medioambiental importante en la producción de sustancias SIC (véase la Sección 1.3). Las principales fuentes de polvo en la producción de sustancias SIC y las principales técnicas utilizadas en el sector de las SIC para reducir el polvo se presentan en la Figura 4.2. Las características del polvo y las propiedades del gas que transporta este polvo (ambas se muestran en la Figura 4.2) son factores determinantes que deben tenerse en cuenta a la hora de elegir una técnica de reducción del polvo.

Figura 4.2. Principales fuentes de polvo y técnicas de reducción utilizadas en el sector de las SIC



¹ incluye transporte

4.4.2.1.1. Separadores

Descripción

El caudal de gas residual se pasa a una cámara en la que se separan el polvo, los aerosoles y las gotículas se separan del gas por la influencia de la inercia de la gravedad/masa, el efecto incrementado por la reducción de la velocidad del gas por medios de diseño, por ejemplo, deflectores, láminas o tejido metálico.

Normalmente se instala un separador como etapa preliminar de los distintos sistemas de filtro antipolvo, lavadores, torres de refrigeración, etc. Por ejemplo, se utiliza para evitar el arrastre del líquido de lavado con gas residual purificado y para eliminar las partículas abrasivas. No se aplica al tratamiento de partículas en los gases de combustión.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Prevenir el arrastre del líquido de lavado con el gas residual purificado,
- Eliminar las partículas abrasivas para proteger los sistemas de filtro antipolvo.

Efectos cruzados

- Los residuos son el polvo separado y las gotículas separadas que se tienen que eliminar, cuando no es posible la reutilización/recirculación. En función de su origen, el polvo separado puede estar contaminado con contenido tóxico y peligroso cuyo tratamiento o eliminación posterior se debe tener en cuenta.
- Consumo de energía para los ventiladores de potencia.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Datos operativos asociados al uso de la técnica de separadores

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/l	
Partículas	10 – 90 ¹		Según el tamaño de las partículas

¹ Del BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.2. Ciclones

Descripción

Los ciclones usan la inercia para eliminar partículas del caudal de gas, con la aplicación de fuerzas centrífugas, normalmente en una cámara cónica. Actúan mediante la creación de un doble vórtice dentro del cuerpo del ciclón. Se fuerza un movimiento circular del gas entrante hacia el ciclón, cerca de la superficie interior del tubo del ciclón. En la parte inferior, el gas gira y sube en espiral por el centro del tubo y sale por la parte superior del ciclón. Las partículas del caudal de gas se envían a las paredes del ciclón por la fuerza centrífuga del gas que está girando pero se contrarresta con la fuerza de arrastre de fluido del gas que recorre el ciclón y sale de él. Las partículas grandes alcanzan la pared del ciclón y se recogen en la tolva inferior, mientras que las pequeñas abandonan el ciclón con el gas de salida.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

Los ciclones se utilizan para controlar el material en partículas y, principalmente, para las partículas con un tamaño superior a $10 \mu\text{m}$. No obstante, hay ciclones de alta eficacia diseñados para ser efectivos incluso con partículas de $\text{PM}_{2,5}$.

Los ciclones por sí mismos no resultan adecuados para cumplir las normativas de contaminación atmosférica, pero cumplen la finalidad de actuar como limpia-dores previos para dispositivos de control final más caros como, por ejemplo, los

filtros de tela (véase la Sección 4.4.2.1.5) o los precipitadores electrostáticos (véase la Sección 4.4.2.1.4). Tienen un uso muy difundido después de las operaciones de secado por pulverización y después de las operaciones de trituración, desbastado y calcinación.

Efectos cruzados

- Si no se recicla en producción, el polvo recuperado se emite como residuo y se tiene que eliminar. La cantidad depende de la carga de polvo del gas residual. Según su origen, el polvo separado puede estar contaminado con sustancias tóxicas y peligrosas.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- Planta de COLOROBBIA, Italia.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.3. *Lavadores húmedos de polvo*

Descripción

El lavado húmedo de polvo es una variación del lavado de gases húmedo (véase la Sección 4.4.2.2.4) en la que se emplean las mismas técnicas, u otras equivalentes, para reducir o recuperar las partículas además de los compuestos gaseosos.

Los diferentes lavadores que se utilizan son principalmente:

- lavadores de embalado fibroso
- lavadores de lecho móvil
- lavadores de plato
- torres de pulverización
- lavadores de arrastre por propagación
- lavadores Venturi.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Reducir o recuperar las partículas.

Efectos cruzados

- Consumo de agua
- Consumo de energía

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Datos operativos asociados al uso de lavadores húmedos de polvo

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/l	
Partículas	50 – >99 ¹		Según el tipo de lavador empleado
COV	50 – >99 ¹		Según el tipo de lavador empleado
SO ₂	80 – >99 ¹		
HCl	90 ¹		Se obtiene con lavadores Venturi
HF	90 ¹		Se obtiene con lavadores Venturi
NH ₃	94 – 99 ¹		

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

Aplicable con carácter general.

Economía

Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- OMG en Harjavalta, Finlandia.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.4. *Precipitador electrostático (ESP)*

Descripción

Un precipitador electrostático es un dispositivo de control de partículas que usa fuerzas eléctricas para mover partículas, arrastradas en un flujo de gases residuales, hasta los platos colectores. A las partículas arrastradas se les aplica una carga eléctrica cuando pasan por una corona donde fluyen los iones gaseosos. Los electrodos en el centro del canal de caudal se mantienen con un voltaje alto y generan el campo eléctrico que empuja las partículas a las paredes del colector.

El voltaje de CC pulsatorio, que normalmente se requiere, se sitúa dentro del intervalo de 20 a 100 kV. Los precipitadores electrostáticos de chorreo de iones normalmente se emplean en el intervalo de 100 a 150 kV con el fin de proporcionar una eficacia de separación excelente, en concreto, a tamaños de submicra.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

Los precipitadores electrostáticos se aplican para eliminar las partículas hasta un tamaño de PM_{2,5} y contaminantes atmosféricos de menor tamaño y peligrosos, como la mayoría de los metales (con la excepción notable del mercurio).

Efectos cruzados

- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Datos operativos asociados al uso de precipitadores electrostáticos

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/Nm ³	
Partículas	99 – 99,2 ¹		
PM ₁₀	97,1 – 99,4 ¹		
PM _{2,5}	96 – 99,2 ¹		
Polvo		5 – 15 ¹	Para precipitadores bien diseñados y de tamaño correcto

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.5. *Filtros de tela y cerámicos*

Descripción

En un filtro de tela, el gas residual pasa por una estructura fuertemente tejida o prensada, lo que provoca que las partículas se recojan en el tejido mediante tamizado u otros mecanismos. Los filtros de tela pueden tener forma de láminas, cartuchos o bolsas (el tipo más habitual), con una serie de unidades de filtros de tela individuales agrupadas. La torta de polvo que se forma en el filtro puede aumentar considerablemente la eficacia de recogida.

Los filtros de tela resultan útiles para recoger partículas con una resistencia eléctrica demasiado baja o demasiado alta para los precipitadores electrostáticos. Con la incorporación de una parte descendente de filtros de bolsa de un precipitador electrostático se obtienen emisiones de partículas muy bajas.

Cuando la carga de gases residuales consta de partículas relativamente grandes, se pueden emplear colectores mecánicos en la parte ascendente, como por ejemplo ciclones, precipitadores electrostáticos o refrigeradores por pulverización, para reducir la carga del filtro de tela, en especial, en concentraciones de entrada elevadas.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

El filtro de tela se emplea principalmente para eliminar las partículas inferiores a PM_{2,5} y contaminantes atmosféricos peligrosos en forma de partículas (PM_{HAP}), como metales (con la excepción del mercurio). En combinación con sistemas de inyección (incluida la adsorción, la inyección de cal seca/bicarbonato sódico e inyección de cal semiseca), en la parte ascendente del sistema de filtros de bolsa, también se puede aplicar para eliminar contaminantes gaseosos específicos.

Efectos cruzados

- Consumo de tejido de filtro
- Consumo de energía

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Datos operativos asociados al uso de filtros de tela y cerámicos

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión mg/Nm ³	Observaciones
	%		
Partículas	99 – 99,9 ¹	<1 – 10 ¹	Depende del tipo de filtro empleado

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- Planta de COLOROBBIA, Italia.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.6. *Filtro antipolvo de dos etapas*

Descripción

El filtro antipolvo de dos etapas contiene tejido metálico como material de filtro. En la primera parte de la filtración se genera una torta de filtración y la filtración real se lleva a cabo en la segunda etapa. Según la pérdida de presión en el filtro, se limpia la segunda etapa y el sistema cambia entre las dos etapas (la primera etapa se convierte en la segunda y viceversa). En el sistema se integra un mecanismo para eliminar el polvo filtrado. El polvo cae al fondo de la cámara, de donde se tiene que eliminar.

Como el tejido metálico tiene una mayor capacidad de carga que un filtro de tela, se requiere menos área de filtración (es decir, menos material de filtración). No obstante, esta ventaja normalmente se pierde a consecuencia del sistema de dos etapas.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

El filtro antipolvo de dos etapas se utiliza para eliminar las partículas. En combinación con sistemas de inyección (incluida la adsorción y la inyección de cal semiseca), también se puede emplear para eliminar contaminantes gaseosos específicos.

Efectos cruzados

- Si no se recicla en producción, el polvo separado se tiene que eliminar de forma adecuada. Este tipo de polvo se podría clasificar como residuo peligroso.
- Consumo del material de filtro.
- Consumo del aire comprimido para la limpieza.
- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Datos operativos asociados al uso de filtros antipolvo de dos etapas

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/Nm ³	
Partículas		$\approx 1^1$	Prácticamente independiente de la entrada

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.7. *Filtro absoluto para partículas de elevada eficacia (HEPA)*

Descripción

El medio filtrante es papel o fibra de vidrio tejida con una elevada densidad de empaquetado. El flujo de gases residuales pasa por el medio de filtración, donde se recogen las partículas. La torta de polvo que se forma en el filtro puede aumentar la eficacia de recogida.

Los filtros HEPA se aplican a partículas con tamaños de submicra entre $PM_{0,12}$ y $PM_{0,3}$, así como a contaminantes atmosféricos peligrosos que están en las partículas como, pe, los metales pesados (excepto el mercurio).

Los filtros tienen una mejor aplicación en las situaciones en las que se requiere una elevada eficacia de recogida de partículas de tamaño de submicra y donde no se puedan limpiar las partículas tóxicas o peligrosas mediante otros filtros, por ejemplo, material químico o biológico. Se instalan como el componente final en un sistema de recogida, en la parte descendente de otros dispositivos, como un precipitador electrostático o filtros de bolsa.

Los filtros HEPA requieren el prefiltrado para eliminar las partículas grandes, como ciclones o lavadores Venturi para reducir las partículas grandes y filtros de bolsa o cartuchos estándar para filtrar las partículas inferiores a $PM_{2,5}$.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Las partículas con tamaño de submicra entre $PM_{0,12}$ y $PM_{0,3}$ se reducen junto con los contaminantes atmosféricos peligrosos que están en forma de partículas, como la mayoría de los metales pesados (excepto el mercurio).

Efectos cruzados

- Si no se recicla en producción, el polvo separado se tiene que eliminar de forma adecuada. Este tipo de polvo se podría clasificar como residuo peligroso.
- Consumo de material de filtro.
- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Datos operativos asociados al uso de filtros HEPA

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/Nm ³	
Partículas		>0,0001 ¹	
PM _{0,01}	>99,99 ¹		
PM _{0,1}	>99,9999 ¹		

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.8. *Filtro de aire de elevada eficacia (HEAF)*

Descripción

Un HEAF es un filtro de lecho plano en el que los aerosoles se combinan en gotículas. Las gotículas de viscosidad elevada permanecen en el tejido de filtro y pueden obturar el filtro. Cuando se alcanza un valor predeterminado de diferencia de presión, se tiene que reemplazar el tejido de filtro por uno nuevo y limpio, que se puede intercambiar durante las operaciones continuas ya que el tejido de filtro se monta en un rodillo. El gas residual tratado abandona el dispositivo de tratamiento a través de un filtro nebulizador, que tiene que separar la capa arrastrada de gotículas viscosas.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Se eliminan los aerosoles, por ejemplo, los COV condensables.

Efectos cruzados

- Consumo de material de filtro
- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Datos operativos asociados al uso de filtros HEAF

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/Nm ³	
Gotículas	99 ¹		
Aerosoles	99 ¹		

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.1.9. *Filtro nebulizador*

Descripción

Los filtros nebulizadores más habituales (eliminadores de vaho, desnebulizadores) son las almohadillas de malla. Los filtros de almohadilla de malla constan de monofilamentos de material metálico o sintético tejidos en una configuración aleatoria o específica y se emplean como filtración de lecho profundo, que tiene lugar en lo más profundo del filtro. Las partículas de polvo sólidas permanecen en el filtro hasta que éste se satura y se tiene que lavar. Cuando el filtro nebulizador se emplea para recoger gotículas o aerosoles, normalmente es autolimpiable y se drena con el líquido. Funcionan por colisión mecánica y dependen de la velocidad. Los separadores deflectores en ángulo también se emplean habitualmente como filtros nebulizadores.

La dimensión del filtro se basa en el flujo de gases residuales, el contenido de salida y la carga de filtro.

Los filtros nebulizadores están diseñados para eliminar tamaños específicos de partículas. Debido al potencial de obturación de las almohadillas de malla de alta eficacia, es necesario limpiarlas periódicamente. Si no se lleva a cabo la limpieza, los contaminantes se pueden solidificar profundamente dentro de las almohadillas y el lavado posterior de las almohadillas no resulta eficaz.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Se eliminan los contaminantes nebulizados, como gotículas y aerosoles. Cuando el material de filtro se limpia in situ, también se aplica a partículas sólidas solubles en líquidos. Debido a la obturación, resultan menos adecuados para polvo sólido y vapores con contenido en grasa. Protegen el equipo de las partículas de polvo sólidas/líquidas para evitar el desgaste y la fricción en los cojinetes y carcásas del ventilador.

Los filtros nebulizadores de alta eficacia se pueden emplear como dispositivos principales. Constituyen una opción cada vez más viable en relación con la eficacia de eliminación, ahorro de agua y economía en numerosos procesos en los que se producen vapores, como ácido sulfúrico, compuestos de níquel, hidróxido sódico, ácido nítrico y compuestos de cromo.

Efectos cruzados

- Consumo de material de filtro.
- Consumo de agua de limpieza.
- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Datos operativos asociados al uso de filtros nebulizadores

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/Nm ³	
Gotículas	99 ¹		
Aerosoles	99 ¹		

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.2. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DEL GAS RESIDUAL PARA REDUCIR LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) Y LOS COMPUESTOS INORGÁNICOS

4.4.2.2.1. *Separación por membrana*

Descripción

En la separación por membrana de los gases se tiene en cuenta la permeabilidad selectiva de los vapores orgánicos cuando penetran a través de una membrana. Los vapores orgánicos tienen un índice de penetración considerablemente mayor que el oxígeno, el nitrógeno, el hidrógeno o el dióxido de carbono (de 10 a 100 veces mayor). El flujo de gases residuales se comprime y se pasa por la membrana. La penetración enriquecida se puede recuperar mediante métodos como la condensación (véase la Sección 4.4.2.2.2) o la adsorción (véase la Sección 4.4.2.2.3), o bien se puede reducir, por ejemplo, mediante oxidación catalítica (véase la Sección 4.4.2.2.8). El proceso resulta más adecuado para concentraciones de vapor más elevadas. En la mayoría de los casos, es necesario un tratamiento adicional para obtener niveles de concentración lo suficientemente bajos para la descarga.

Los separadores por membrana están diseñados como módulos, por ejemplo, como módulos capilares, fabricados como una capa de polímero.

Los sistemas de separación por membrana constan de:

- los módulos de membrana,
- un compresor,
- una unidad de recuperación (por ejemplo, condensador o adsorbente),
- respiraderos y conductos,
- posiblemente una segunda etapa para su tratamiento posterior.

Para crear la diferencia de presión, necesaria entre los lados de alimentación y de penetración de la membrana (0,1 - 1 MPa), el sistema trabaja mediante el exceso de presión en el lado de alimentación y el vacío (alrededor de 0,2 kPa) en el lado de penetración o en ambos.

Durante el aumento de concentración de vapor dentro de la unidad de la membrana, el nivel de concentración puede subir por debajo del límite explosivo y, de este modo, desarrollar una mezcla explosiva. Por lo tanto, la seguridad es una cuestión esencial y se tienen que adoptar medidas para evitar estas situaciones o para enfrentarse a este riesgo.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Recuperación de COV.

Efectos cruzados

- Consumo de energía

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12. Datos operativos asociados al uso de separación por membrana

Parámetro	Índice de rendimiento (%)	Observaciones
COV	Hasta 99,9 ¹	Recuperación de COV, unidad de condensación en parte ascendente y en parte descendente
Hidrocarburo	90 – 99 ¹	Proceso para la recuperación de hidrocarburo, unidad de condensación en parte ascendente

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.2.2. Condensación y condensación criogénica

Descripción

La condensación es una técnica que elimina los vapores disolventes de un flujo de gases residuales, mediante la reducción de su temperatura por debajo de su punto de rocío.

Existen distintos métodos de condensación, según el intervalo operativo de temperaturas:

- condensación de enfriamiento, temperatura de condensación por debajo de unos 25 °C;
- condensación de refrigeración, temperatura de condensación por debajo de unos 2 °C;
- condensación de salmuera, temperatura de condensación por debajo de unos -10 °C;
- condensación de salmuera de amoníaco, temperatura de condensación por debajo de unos -40 °C (una etapa) o -60 °C (dos etapas);
- condensación criogénica, temperatura de condensación por debajo de unos -120 °C, en la práctica se suele utilizar entre -40 y -80 °C en el dispositivo de condensación;
- condensación de gas inerte de ciclo cerrado.

La condensación se lleva a cabo mediante enfriamiento directo (es decir, contacto entre el gas y el líquido refrigerante) o indirecto (es decir, enfriamiento a través del intercambiador térmico). Se prefiere la condensación indirecta porque la directa necesita una etapa de separación adicional. Los sistemas de recuperación van desde condensadores simples e individuales a sistemas más complejos de condensadores múltiples diseñados para maximizar la recuperación de energía y de vapor.

La condensación criogénica puede ocuparse de todos los contaminantes COV e inorgánicos volátiles, independientemente de sus presiones de vapor individuales.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Se reducen los compuestos inorgánicos volátiles y las sustancias que desprenden malos olores.

Efectos cruzados

- Generación de aguas residuales (la cantidad generada por la instalación de condensación es directamente proporcional a la cantidad de condensación que, a su vez, es directamente proporcional al contenido de humedad y la temperatura de enfriamiento elegida).
- Consumo del medio de enfriamiento (por ejemplo, aire, agua, salmuera, salmuerade amoníaco o nitrógeno).
- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Datos operativos asociados al uso de condensación

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión mg/Nm ³	Observaciones
	%		
Olores	60 – 90 ¹		
Amoníaco	20 – 60 ¹		

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.2.3. Adsorción

Descripción

La adsorción es una reacción heterogénea en la que las moléculas de gas se retienen en una superficie sólida (adsorbente) que prefiere unos componentes específicos a otros y, por lo tanto, los elimina de los flujos de efluentes. Cuando la superficie ha adsorbido casi tanto como puede, se anula la adsorción del contenido adsorbido como parte de la regeneración del adsorbente. Cuando se produce la anulación de la adsorción, los contaminantes normalmente están en una concentración mayor y se pueden recuperar o reducir (destruir).

Los principales sistemas de adsorción son:

- adsorción de lecho fijo
- adsorción de lecho fluidificado
- adsorción de lecho móvil continuo
- adsorción de presión de oscilación (PSA)

Los adsorbentes típicos son, por ejemplo:

- carbón activo granular (GAC), el adsorbente más habitual con un amplio intervalo de eficacia y no se limita a compuestos polares o no polares; el GAC puede estar impregnado, por ejemplo, con oxidantes tales como el permanganato de potasio o con compuestos de azufre (lo que mejora la retención de los metales pesados);
- zeolitas (cuyas propiedades dependen de su fabricación, funcionan como medios tamices moleculares, intercambiador de iones selectivo o adsorbedor de COV hidrófobo);
- partículas de polímero macroporoso, que se emplean como gránulos o cuentas, y no son muy selectivas con respecto al COV;
- gel de sílice;
- silicatos de sodio-aluminio.

Además de los métodos de regeneración continuos y simultáneos, existen varios métodos para regenerar el adsorbente de los adsorbedores de lecho fijo:

- regeneración térmica de oscilación;
- regeneración de vacío;
- PSA.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Recuperación de COV.
- Reducción de contaminantes (sustancias peligrosas de las instalaciones de producción o tratamiento, por ejemplo WWTP, con COV, malos olores, gases de rastro, etc.) que no se pueden recircular o utilizar de otro modo, posiblemente con GAC como adsorbente y no se regeneran sino que se incineran.

No se recomienda la aplicación como tecnología de reducción para gases residuales, con concentraciones de COV muy elevadas, porque los consiguientes requisitos de regeneración afectarían de forma negativa a la rentabilidad. Normalmente, existen técnicas más adecuadas.

Efectos cruzados

- Consumo de adsorbentes.
- Consumo de energía.
- Consumo de agua de enfriamiento.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Datos operativos asociados al uso de adsorción

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/Nm ³	
COV	80 – 95 ¹		GAC
Olores	80 – 95 ¹		GAC, zeolitas
Mercurio		< 0,01 – 0,05 ¹	GAC
Sulfuro de hidrógeno	80 – 95 ¹		GAC

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.2.4. *Lavador de gases húmedo*

Descripción

El lavado húmedo (o la absorción) es una transferencia de masa entre un gas soluble y un disolvente (normalmente agua) que están en contacto. Se prefiere el lavado físico para la recuperación química, mientras que el lavado químico se limita a la eliminación y reducción de componentes gaseosos. El lavado físico-químico ocupa una posición intermedia. El componente se disuelve en el líquido absorbente e interviene en una reacción química reversible, que permite la recuperación del componente gaseoso.

Según los contaminantes que se vayan a eliminar, se emplean varios líquidos de lavado acuoso:

- agua, para eliminar disolventes y gases como los haluros de hidrógeno o el amoníaco con la intención principal de recuperar y reutilizar estos contaminantes;
- soluciones alcalinas, para recuperar componentes ácidos, como haluros de hidrógeno, dióxido de azufre, fenoles, cloro; también se emplean para el lavado de segunda etapa con el fin de eliminar los haluros de hidrógeno residuales después de la absorción acuosa de primera etapa; desulfurización del biogás;
- soluciones de oxidación alcalinas, es decir, soluciones alcalinas con hipoclorito sódico, dióxido de cloro, ozono o peróxido de hidrógeno;
- soluciones hidrógeno sulfito de sodio, para eliminar los malos olores (por ejemplo, aldehídos);
- soluciones de Na_2S_4 para eliminar el mercurio del gas residual;
- soluciones ácidas para eliminar el amoníaco.

Se utilizan varios tipos de lavadores, por ejemplo

- lavadores de embalado fibroso,
- lavadores de lecho móvil,
- lavadores de lecho fijo,
- lavadores de plato por propagación,
- torres de pulverización.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de contaminantes gaseosos, como haluros de hidrógeno, SO_2 , amoníaco, sulfuro de hidrógeno.

- Eliminación de SO₂ o haluros de hidrógeno.
- Eliminación de polvo con determinados tipos de lavadores (véase la Sección 4.4.2.1.3).

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Datos operativos asociados al uso de lavadores de gases húmedos

Parámetro	Índice de rendimiento	Nivel de emisión	Observaciones
	%	mg/Nm ³	
Fluoruro de hidrógeno	> 99 ¹	< 50 ¹	Agua
		< 1 ¹	Alcalino
Cloruro de hidrógeno	> 99 ¹	< 50 ¹	Agua
		< 10 ¹	Alcalino
Ácido crómico		< 0,1 – 1 ¹	Agua
Amoníaco	> 99,9 ¹	< 1 ¹	Ácido
Dióxido de azufre	80 – 99 ¹	< 40 ¹	Alcalino
Sulfuro de hidrógeno	90 – 95 ¹		Alcalino
Compuestos inorgánicos	95 – 99 ¹		

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.2.5. Eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales

Descripción

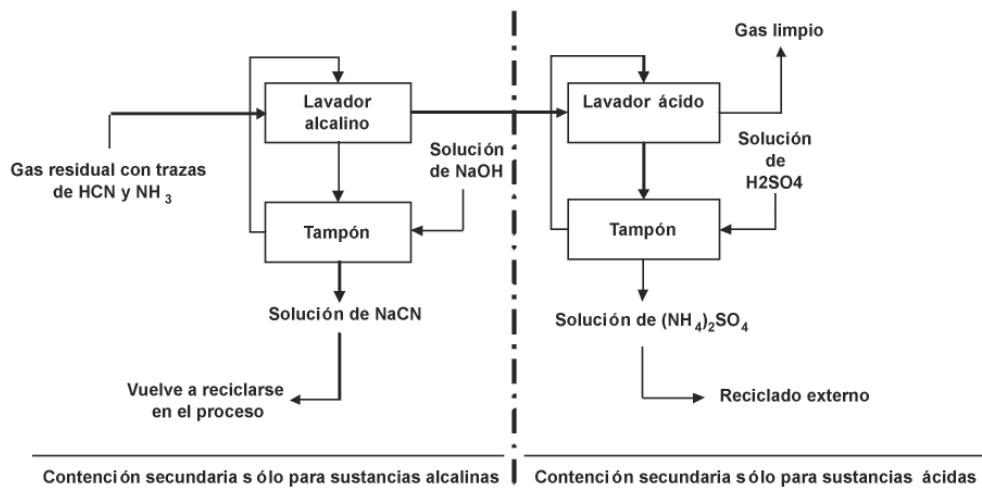
El cianuro de hidrógeno (HCN) y el amoníaco (NH₃) se elimina de los gases residuales mediante un lavador alcalino con una solución de NaOH y un lavador

ácido con una solución de H_2SO_4 . En cada lavador, la solución circula entre un recipiente de tampón y el lavador. La solución en cada lavador se muestrea periódicamente y se sustituye si el contenido de OH^- libre es demasiado bajo para la absorción de HCN del flujo de gases residuales o si el contenido de H_2SO_4 libre es demasiado bajo para la absorción de amoníaco. Si es posible, la solución gastada del lavador alcalino se recicla en el proceso para sustituir las materias primas. La solución de sulfato amónico que se forma en el lavador ácido se puede reciclar fuera de las instalaciones (por ejemplo, en plantas que producen fertilizantes).

Por motivos de seguridad, el recinto de contención secundario del lavador ácido está separado rigurosamente del recinto de contención secundario del lavador alcalino y del resto del edificio de producción. Esto se realiza para evitar que, en caso de accidente, los ácidos entren en contacto con las soluciones que contienen cianuro, lo que podría provocar la emisión de HCN al medio ambiente, principalmente a las áreas de trabajo.

En la Figura 4.3 se muestra una vista esquemática de esta técnica.

Figura 4.3. Eliminación de HCN y NH_3 de los gases residuales



Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de HCN y NH_3 de los gases residuales.
- No se genera agua residual del lavador alcalino (reutilización de la solución del lavador alcalino en el proceso para sustituir las materias primas).
- La rigurosa separación de la contención ácida y alcalina reduce el potencial de emisiones peligrosas en caso de accidente.

Los niveles de emisión logrados para la eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales se muestran en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Niveles de emisión logrados para la eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales

	Concentración	Caudal másico	Referencia
HCN	1 mg/m ³	3 g/h	CyPlus, Alemania
NH ₃	1,2 mg/m ³	3 g/h	

Efectos cruzados

- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17. Datos operativos para la eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales

Capacidad de tratamiento	Caudal de gases	Caudal y concentraciones en la entrada del sistema de tratamiento	Referencia
		3400 m ³ /h 50 mg/m ³ HCN 250 mg/m ³ NH ₃	CyPlus, Alemania
Eficacia global	99,2%		

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Costes de funcionamiento bajos.
- Reducción de los costes de las materias primas.

Impulsores de la implementación

- Eliminación de compuestos tóxicos de los gases residuales.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

4.4.2.2.6. Sistemas de oxidación de doble lecho

Descripción

Un sistema RTO (unidad de oxidación térmica regenerativa) de doble lecho proporciona una forma para que el gas cargado de disolvente se convierta en CO₂ y vapor de H₂O.

La unidad de oxidación consta de una cámara de lecho doble reforzada y aislada rellenada con medio de intercambiador térmico cerámico. El caudal de gases se controla automáticamente mediante un mecanismo de válvulas de gaveta sin pérdidas que cambia la dirección del caudal de gases, a intervalos regulares, a través de un sistema de control lógico programable (PLC), con diagnóstico remoto de telemetría basado en módem. Debido al elevado contenido de oxígeno en el gas del proceso, la combustión completa se produce inmediatamente cuando en la unidad de oxidación se alcanza el punto de ignición (normalmente de 870 a 927 °C para RTO y de 316 a 427 °C para RCO, oxidación catalítica regenerativa). Los hidrocarburos del proceso se convierten en dióxido de carbono y en vapor de agua. Con una concentración suficiente de disolventes en el gas entrante del proceso (400+ PPM), la exotermia de la liberación térmica de los disolventes será suficiente para que la destrucción de los COV sea autosostenible y sin llamas (sin NO_x), sin que se requiera energía térmica auxiliar del quemador. El elevado nivel de recuperación térmica (normalmente el 95% de la recuperación térmica principal) que se consigue es el resultado de la transferencia térmica regenerativa. El aire del proceso cargado de COV entra en un lecho poroso lleno con medio de transferencia térmica cerámico a alta temperatura. El aire se calienta previamente mediante el primer lecho de recuperación térmica, pasa por una cámara de combustión central donde los hidrocarburos se oxidan en dióxido de carbono y vapor de agua. A continuación, sale a un segundo lecho de recuperación térmica donde el calor se transfiere desde el aire caliente al lecho. Para evitar que haya una distribución desigual de la temperatura en toda la unidad de oxidación, la dirección del caudal de gases se cambia a intervalos regulares mediante el mecanismo automático de conmutación de caudal de válvulas de gaveta y controles de PLC para mantener un perfil de temperatura uniforme entre los dos lechos.

Ventajas medioambientales logradas

- > 99% de reducción de COV;
- >95% de recuperación térmica. El nivel de NO_x es insignificante.

Efectos cruzados

- Generación de CO₂ (y vapor de H₂O).

Datos operativos

El aire del proceso cargado de COV entra en un lecho poroso relleno con medio de transferencia térmica cerámico a alta temperatura. El aire se calienta previamente mediante el primer lecho de recuperación térmica, pasa por una cámara de combustión central donde los hidrocarburos se oxidan en dióxido de carbono y vapor de agua. A continuación, sale a un segundo lecho de recuperación térmica donde el calor se transfiere desde el aire caliente al lecho. Para evitar que haya una distribución desigual de la temperatura en toda la unidad de oxidación, la dirección del caudal de gases se cambia a intervalos regulares mediante el mecanismo automático de commutación de caudal de válvulas de gaveta y controles de PLC para mantener un perfil de temperatura uniforme entre los dos lechos.

Aplicabilidad

Para fuentes puntuales de 1680 a 136200 m³/h, las unidades móviles también existen para el uso temporal.

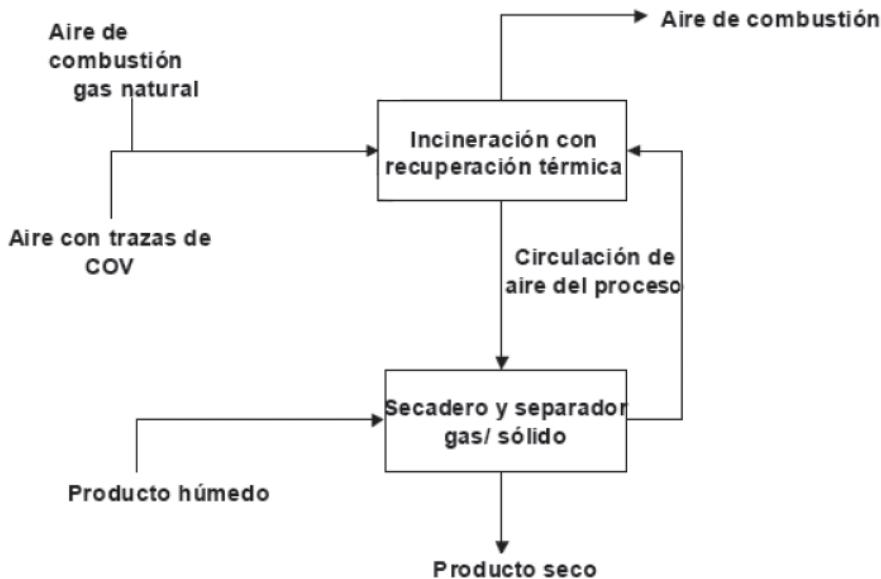
4.4.2.2.7. Incineración de emisiones gaseosas con compuestos orgánicos volátiles (COV)

Descripción

La materia prima empleada puede contener pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles (por ejemplo, benceno) que se pueden encontrar en varios caudales de gases del proceso de producción. Los flujos de gases que contienen COV se identifican y se separan de los demás. Los COV se incineran en un calentador de aire que funciona con gas natural. Se recupera la energía de la incineración. El aire de secado por circulación se calienta con esta energía. La Figura 4.4 muestra un esquema de esta técnica.

Dado que existe el riesgo de formación de dioxina/furano (PCDD/F), cuando se incineran los compuestos clorados, las siguientes condiciones operativas se consideran normalmente adecuadas para la incineración de sustancias organohalogenadas (estas condiciones se indican en varias normativas de la UE sobre incineración, por ejemplo, la Directiva 2000/76/CE sobre la incineración de residuos):

Figura 4.4. Incineración del aire del proceso que contiene compuestos orgánicos volátiles (COV)



- temperatura >1100 °C (850 °C cuando se incineran residuos con menos del 1% de sustancias organohalogenadas)
- tiempo de residencia >2 s
- contenido en oxígeno >3%.

Además, se tienen que prevenir las condiciones que favorecen la formación de dioxinas/furanos inmediatamente después de la combustión. Esto se consigue con un «temple rápido» de los gases posteriores a la combustión mediante su enfriamiento muy rápidamente desde altas temperaturas hasta por debajo del intervalo de temperaturas de la nueva formación de dioxinas/furanos.

Estas medidas están diseñadas para mantener las emisiones de PCDD/F por debajo de 0,1 ng TEQ/Nm³.

En el caso de la combustión de sustancias COV halogenadas, es necesario un lavador HCl.

Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de los COV (por ejemplo, benceno) de los gases residuales.
- Ahorro de gas natural para el funcionamiento del calentador de aire.

Los niveles de emisión conseguidos se indican en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Niveles de emisión conseguidos después de la incineración de COV

	Concentración de COV	Caudal másico	Referencia
Gas residual	< 0,6 mg/m ³	0,4 g/h	CyPlus, Alemania

Efectos cruzados

- Ninguno.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19. Datos operativos para la incineración de COV

	Caudal y concentración en la entrada del sistema de tratamiento		Referencia
Capacidad de tratamiento	Caudal de gases	2500 m ³ /h Concentración de benceno variable	CyPlus, Alemania
Eficacia global	99,9%		

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Reducción de costes energéticos.
- Costes de inversión considerablemente bajos.

Impulsores de la implementación

- Eliminación de compuestos tóxicos de los gases residuales.

Ejemplos de plantas

- Planta CyPlus, Alemania.

4.4.2.2.8. *Oxidación catalítica*

Descripción

Las unidades de oxidación catalítica funcionan de un modo muy parecido a las unidades de oxidación térmica, con la principal diferencia de que el gas, después de pasar por el área de llamas, pasa por un lecho catalizador. El catalizador tiene el efecto de aumentar el índice de reacción de oxidación, lo que permite la conversión a temperaturas de reacción inferiores a las de las unidades de oxidación térmica. Por lo tanto, los catalizadores permiten el uso de unidades de oxidación de menor tamaño.

El gas residual se calienta mediante calentadores auxiliares a aproximadamente 300 – 500 °C antes de entrar en el lecho catalizador. La temperatura máxima de emisiones prevista del catalizador es normalmente de 500 a 700 °C.

El método de contacto del caudal de gases con el catalizador sirve para diferenciar los sistemas de oxidación catalítica. Se emplean sistemas de lecho fijo y de lecho fluidificado.

Los catalizadores para la oxidación de COV normalmente son:

- metales preciosos, como platino, paladio y rodio, sobre soporte cerámico;
- metales, o metales básicos, sobre soporte de gránulos cerámicos;
- óxidos de metal individuales o mezcladores, normalmente sobre un soporte de portador de resistencia mecánica, como óxidos de cobre, cromo, manganeso, níquel, cobalto, etc.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de COV.
- Reducción de las emisiones de CO y partículas (para este último caso se requieren dispositivos operativos especiales).

Efectos cruzados

- Consumo de energía

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20. Datos operativos asociados al uso de la oxidación catalítica

Parámetro	Índice de rendimiento (%)	Nivel de emisión (mg/l)
COV	90 – 99 ¹	< 1 – 20 ¹
CO	> 98 ¹	
PM ₁₀	50 – 99,9 ¹	

¹ De BREF CWW

Aplicabilidad

La oxidación catalítica resulta muy adecuada para sistemas con volúmenes de emisiones inferiores, cuando existe poca variación en el tipo y la concentración de COV, y donde no se presentan contaminantes catalizadores u otros contaminantes de incrustación.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.3. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DEL GAS RESIDUAL PARA REDUCIR LOS CONTAMINANTES GASEOSOS EN LAS EMISIONES DE GASES PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN

4.4.2.3.1. *Inyección de sorbente para reducir los gases ácidos y fluoruros*

Descripción

El principio de reacción de la inyección de sorbente de desulfurización de gases de combustión (FGD) es la introducción de material reactivo en el flujo de gases residuales y su dispersión en él. Este material reacciona con especies de SO_x para formar un sólido, que se tiene que eliminar posteriormente del flujo de gases residuales (por ejemplo, con un ESP o un filtro de bolsa). Los sorbentes más usados son:

- cal
- carbonato ácido de sodio (bicarbonato sódico)
- carbonato de sodio (sosa)

La elección del sorbente depende de su disponibilidad. En la mayoría de los casos se trata de un material que se da en la naturaleza, como la piedra caliza, la dolomita o los compuestos hidratados derivados de estas materias primas.

Estos sorbentes también son efectivos para eliminar otros gases ácidos, en concreto el cloruro y el fluoruro de hidrógeno. Si la intención es recuperar los gases ácidos, es necesario tratar previamente el gas residual (lavado con agua, véase la Sección 4.4.2.2.4).

Existen tres tipos de técnicas de inyección de sorbente:

- inyección de sorbente seco
- inyección de sorbente semiseco (o semihúmedo)
- inyección húmeda de lechada de cal

Con la inyección de sorbente seco, el sorbente en polvo fino se inyecta en el caudal de gases de combustión o se añade a una torre de reacción, método que resulta más eficaz. Cuando el sorbente se inyecta en el caudal de gases, esta operación se puede realizar en varias posiciones según la temperatura y las condiciones en las que resulte más reactivo.

Con la inyección de sorbente semiseco, el sorbente se añade como una suspensión o solución (gotículas) en una cámara de reacción de un modo tal que el líquido se evapora continuamente durante la reacción. El resultado es un producto seco, recogido en la base de la cámara o en un dispositivo de reducción de partículas.

Con la inyección de sorbente húmedo, el SO₂ se elimina de los gases de combustión en el absorbente de FGD por contacto directo con una suspensión acuosa de cal molida fina (lechada de cal), después de haber abandonado el sistema de control de partículas y haber pasado por un intercambiador térmico. Los gases de combustión lavados pasan por un eliminador nebulizador y se liberan a la atmósfera por un conducto de humo o torre de enfriamiento. Los productos de reacción se extraen del sorbente y se envían para su desecación y posterior procesamiento.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de gases ácidos (por ejemplo, SO₂, SO₃, HCl, HF) en los gases residuales.

Efectos cruzados

- En el caso de la absorción seca y semiseca, el residuo es una mezcla del sorbente original y los productos de reacción que, si no se puede recuperar o reciclar, se tiene que eliminar.
- Consumo de sorbente.
- Consumo de energía para la inyección de sorbente seco y semiseco.
- Consumo de agua para la inyección de sorbente semiseco y húmedo.

Datos operativos

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ejemplos de plantas

- Colorobbia, Italia (véase también la Sección 6.1.4.3).

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.3.2. Reducción selectiva de NO_x (SNCR y SCR)

Descripción

La reducción selectiva de NO_x implica la inyección de compuestos de NH₂-X (donde X = H, CN o CONH₂) en el caudal de gases de combustión, con la reducción de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno y agua. El agente de reducción más habi-

tual es una solución acuosa al 25% de amoníaco o amoníaco puro. Otros agentes de reacción son soluciones de urea, cal nitrogenada o cianamida.

Existen diferentes variantes para la reducción de NO_x selectiva:

- reducción no catalítica selectiva (SNCR);
- reducción catalítica selectiva (SCR).

Con la SNCR, el agente de reducción se inyecta en el área donde los gases de escape han alcanzado una temperatura entre 930 y 980 °C, mientras que la urea se inyecta en un área donde la temperatura del gas se sitúa entre 950 y 1050 °C. La inyección se produce después de la combustión y antes de cualquier otro tratamiento. La temperatura, el índice molar de NH₃/NO_x y el tiempo de residencia son los parámetros principales para una eficiencia de reducción óptima. Las temperaturas que se encuentran por debajo del nivel mencionado anteriormente provocan la emisión del amoníaco no convertido (barbotina de amoníaco); las temperaturas que se encuentran considerablemente por encima del nivel oxidan el amoníaco en NO_x. La SNCR se utiliza con un intervalo de índice molar de NH₃/NO_x de 0,5 – 0,9. En niveles superiores (> 1,2) también se puede producir barbotina de amoníaco, lo que genera aerosoles de cloruro de amoníaco y sulfato, que pasan por el filtro y provocan penachos blancos visibles por encima del conducto de emisiones gaseosa. El tiempo de residencia y la calidad de mezcla son decisivos para la eficacia de reacción. Un tiempo de residencia demasiado breve provocará barbotina de amoníaco.

Con la SCR, el caudal de gases de escape y el agente inyectado se pasan por un catalizador, con temperaturas operativas de entre 200 y 500 °C, dependiendo del catalizador. Es esencial obtener la mezcla óptima, es decir el índice molar de NH₃/NO_x, a través del catalizador. El nivel de índice molar se mantiene normalmente por debajo de 1,1 para limitar la posibilidad de formación de barbotina de amoníaco.

Las temperaturas considerablemente inferiores, en comparación con la SNCR, posibilitan la instalación de SCR en la parte descendente de otros dispositivos de tratamiento, como un sistema de reducción de polvo y FGD. Con este proceso de eliminación de NOX «en frío», se añade una mezcla de aire (para controlar el contenido en oxígeno) y amoníaco después de FGD. El caudal de gases de combustión desulfurizado se tiene que volver a calentar a la temperatura de reacción necesaria. La ventaja de este procedimiento es que, ya que no hay adsorción en el polvo, no hay posibilidad de que se forme barbotina de amoníaco.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de los óxidos de nitrógeno de procesos tales como producción química, combustión u hornos de proceso.

Efectos cruzados

- Consumo de amoníaco
- Consumo de vapor para evaporar el amoníaco
- Consumo de energía

Datos operativos

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.2.3.3. Técnicas de reducción de SO₂

Descripción

Las emisiones de dióxido de azufre se generan si al proceso de reacción se le añade azufre como agente de reducción. Existen varios métodos de tratamiento de gases residuales para la eliminación de SO₂:

- Lavado con sosa cáustica.

Al efectuar el lavado con sosa cáustica, el SO₂ se convierte en sulfito sódico. En algunos casos, se puede añadir peróxido de hidrógeno al efluente, con el fin de acelerar la generación de sulfato sódico.



- Lavado con carbonato cálcico: desulfurización de gases de combustión (FGD).

Al efectuar el lavado con carbonato cálcico, el SO_2 se convierte en sulfito cálcico o en mezcla de sulfato cálcico.



La reacción (4) sólo se puede producir a temperatura elevada ($>900\ ^\circ\text{C}$):

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de SO_2 .

Los niveles de emisión conseguidos se indican en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21. Niveles de emisión conseguidos después de la reducción de SO_2

	Concentración	Caudal másico	Referencia
Gas residual	100 – 200 mg/Nm ³		

4.4.3. Técnicas combinadas de tratamiento del agua residual y el gas residual

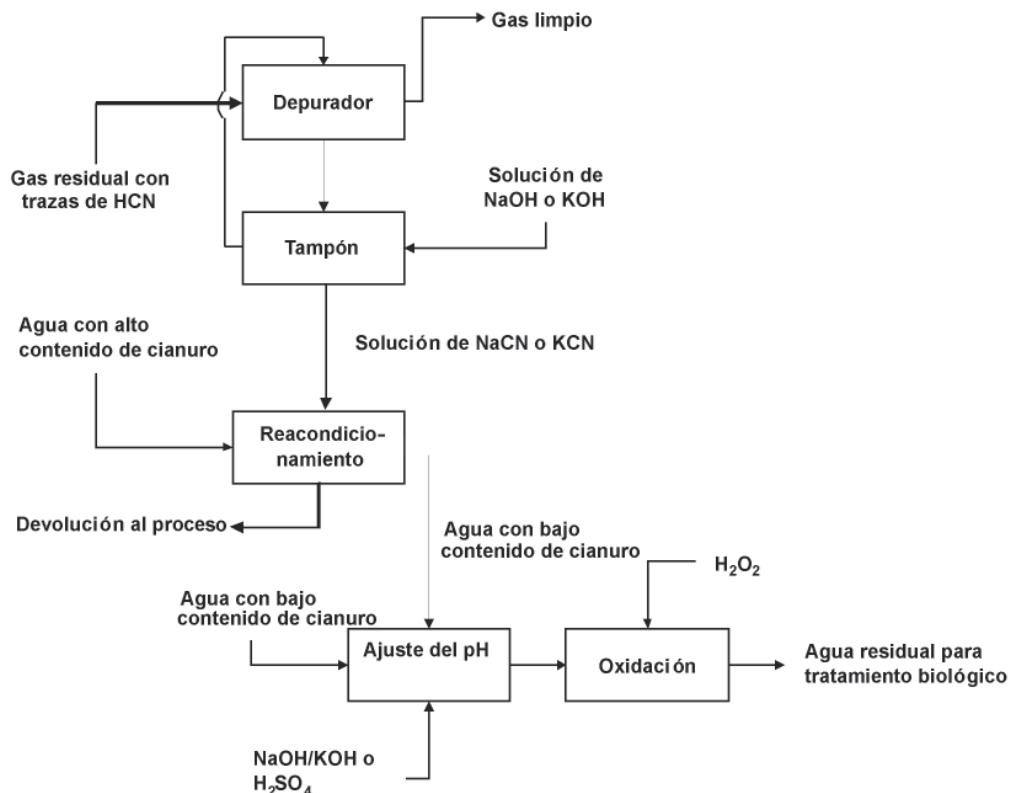
4.4.3.1. LAVADO Y RECICLADO DE CIANUROS DE LOS GASES RESIDUALES Y EL AGUA RESIDUAL UTILIZANDO PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H_2O_2) COMO AGENTE OXIDANTE

Descripción

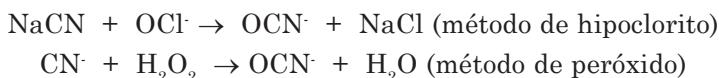
Los cianuros (en forma de gas HCN) se eliminan de los gases residuales mediante un lavador con una solución NaOH (o una solución KOH). La solución circula entre un recipiente de tampón y el lavador. La solución se muestrea periódicamente y se sustituye si el contenido de OH⁻ libre es demasiado bajo para la absorción de HCN del caudal de gases. La solución consumida, que está cargada con cianuros, se reacondiciona (el reacondicionamiento consta básicamente de la mezcla de la solución consumida con el fin de lograr una concentración de CN bastante constante y homogénea) con otros caudales de agua residual rica en CN para sustituir las materias primas en el proceso de producción (donde se fabriquen compuestos de cianuro). De la unidad de reacondicionamiento sale un caudal de agua residual baja en CN⁻. El cianuro restante se destruye junto con los flujos de agua residual baja en CN⁻ mediante el ajuste del pH y la destrucción

oxidativa con peróxido de hidrógeno (H_2O_2). En la Figura 4.5 se muestra una vista esquemática de esta técnica.

Figura 4.5. Lavado y reciclado de cianuros de los gases residuales y el agua residual



Con la tecnología basada en H_2O_2 (a diferencia del hipoclorito, por ejemplo) no se generan sales y subproductos de AOX.



Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de HCN/CN- de los gases residuales y de las aguas residuales.
- Reutilización de los flujos de agua residual como materias primas.
- No queda AOX en el agua residual.
- No hay residuos contaminados.

Los niveles de emisión conseguidos para la descarga en un depurador de aguas residuales se indican en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22. Niveles de emisión conseguidos después del lavado y el reciclado de los cianuros

	Concentración	Caudal másico	Referencia
Gas residual	1 mg HCN/m ³	3 g HCN/h	CyPlus, Alemania
Agua residual	1,1 mg CN ⁻ /l	2,3 g CN ⁻ /h	

Efectos cruzados

- Consumo de energía.

Datos operativos

Los datos operativos se presentan en la Tabla 4.23.

Tabla 4.23. Datos operativos para el lavado y el reciclado de los cianuros

	Concentración	Referencia
Capacidad de tratamiento	Caudal de gases	3400 m ³ /h 50 mg HCN/m ³
	Agua residual con una concentración elevada de CN ⁻	1 m ³ /h 5% de CN ⁻
	Agua residual con una concentración baja de CN ⁻	15 m ³ /h 700 mg HCN/m ³
Eficacia global	99,9%	

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

Reducción de costes para el tratamiento del agua residual debido a la ausencia de la carga de AOX. La técnica se aplica en algunas instalaciones.

Impulsores de la implementación

- Eliminación de compuestos tóxicos de los gases residuales y de las aguas residuales.

Ejemplos de plantas

- Planta CyPlus, Alemania.

4.4.4. Técnicas de tratamiento de los residuos líquidos (no acuosos) y sólidos

4.4.4.1. ESPESAMIENTO Y DESECACIÓN

Descripción

El espesamiento y la desecación del lodo son operaciones que incrementan el contenido sólido del lodo y eliminan una parte de agua. Su beneficio muestra una reducción considerable (cinco o más veces) en el volumen para facilitar las operaciones de tratamiento posterior así como reducir el tamaño y la capacidad necesarios del equipo de tratamiento. Ambos tratamientos difieren únicamente en el nivel de eliminación de agua.

Las técnicas habituales son:

- espesamiento por gravedad o sedimentación, mediante un tanque de asentamiento;
- espesamiento por centrifugación (también como una técnica de desecación), ideal para la captura de sólidos, mediante un centrifugado de depósito sólido o centrifugado de cesta no perforada;
- espesamiento por flotación;
- espesamiento mediante cinta de gravedad: con una cinta de gravedad que se mueve sobre rodillos, el lodo acondicionado añadido a un extremo en la caja de alimentación/distribución se estría mediante una serie de cuchillas, lo que permite que el agua liberada pase por la cinta;
- espesamiento por tambor rotativo: la unidad consta de un sistema de acondicionamiento del lodo con unos tamices de alimentación de polímero y cilíndricos rotativos donde el polímero y el lodo fino se mezclan hasta la floculación y, a continuación, se separa del agua en los tambores de tamiz rotativos;
- desecación con prensas de filtro de lecho, donde el lodo acondicionado se introduce en una sección de drenaje por gravedad para espesarlo y separarlo del agua mediante la gravedad; esta operación se complementa con vacío que, de forma simultánea, mejora el drenaje y reduce los malos olores; a continuación,

- se aplica presión en un sector de baja presión, donde el lodo se presiona entre cintas porosas opuestas para liberar el agua adicional;
- desecación con prensas de filtro, donde la separación de sólido/líquido se produce a alta presión, el lodo se pasa por una serie de telas de filtro para retener las partículas, como por ejemplo, la torta de filtración, y la filtración se recicla en la depuradora.

Para obtener información adicional sobre la descripción, la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Se reduce el volumen de los residuos para facilitar las operaciones de tratamiento posteriores.

Efectos cruzados

- Consumo de energía.
- Consumo de sustancias químicas (por ejemplo, floculantes o polímeros).
- Consumo de agua de lavado.
- Los efluentes se deben tratar en la depuradora.
- Puede haber emisiones ruidos y malos olores.

Datos operativos

Los niveles de emisión/índices de rendimiento que se pueden conseguir se indican en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- La información económica se puede encontrar en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.4.2. ESTABILIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO

Descripción

La estabilización del lodo residual es una operación de pretratamiento anterior al espesamiento o la desecación.

Las técnicas de estabilización son:

- estabilización química, principalmente utilizando cal como pretratamiento, es decir, antes de la desecación, o como tratamiento posterior, es decir después de la desecación, para elevar el pH a >12 y matar los patógenos;
- estabilización térmica, mediante el calentamiento del lodo en un depósito de presión a temperaturas de hasta 260 °C y presiones de hasta 2,8 MPa durante 30 minutos aproximadamente. La siguiente técnica también se utiliza para el acondicionamiento;
- digestión aeróbica, funciona en un depósito (similar al proceso de lodo activado aeróbico para el tratamiento de aguas residuales) con aire puro u oxígeno y un amasado adecuado, lo que produce una reducción del 75 al 80% del contenido de lodo activado; la técnica constituye una opción atractiva cuando se considera la posibilidad de la digestión independiente del lodo ;
- digestión anaeróbica, que funciona en un depósito sin aire en el intervalo mesofílico (30 a 38 °C) o termofílico (49 a 57 °C) y produce una mezcla de gases combustibles (65 a 70% de metano, 25 a 30% de dióxido de carbono, pequeñas cantidades de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, etc.) con un valor de calentamiento bajo de unos 22 MJ/Nm³;
- estabilización de lodo dual, mediante la combinación de una digestión termofílica aeróbica en la parte ascendente y una digestión mesofílica anaeróbica en la parte descendente.

La finalidad del acondicionamiento del lodo es mejorar las condiciones para el espesamiento y la desecación. Las técnicas de acondicionamiento son:

- acondicionamiento químico utilizando, por ejemplo, cloruro férrico, cal, alúmina y polímeros orgánicos (coagulantes y floculantes);
- acondicionamiento térmico mediante el calentamiento del lodo en un depósito de presión.

Para obtener información adicional sobre la aplicación, las ventajas, las desventajas, los límites y las restricciones de la técnica, véase BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción o eliminación de la cantidad de constituyentes que desprenden malos olores.

- Reducción de la cantidad de sólidos de lodo biodegradables.
- Mejora de la desecación.
- Reducción de los patógenos.
- Reducción o eliminación de la posibilidad de putrefacción.

Efectos cruzados

- Consumo de sustancias químicas (por ejemplo, cal o polímeros).
- Consumo de energía.

Aplicabilidad

Aplicable con carácter general.

Documentación de referencia

BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.4.4.3. REDUCCIÓN TÉRMICA DEL LODO

La reducción térmica del lodo no se lleva normalmente a cabo en una instalación de SIC. Por lo general, sólo las plantas de mayor tamaño utilizan este tipo de tratamiento del lodo, mientras que otras preparan el lodo para la descarga externa. El motivo es que se necesita personal cualificado, los costes de capital y de mantenimiento son considerables y los beneficios del calor generado sólo son adecuados para plantas de mayor tamaño o donde el equipo ya esté disponible [21, European IPPC Bureau, 2003].

4.5. Infraestructura

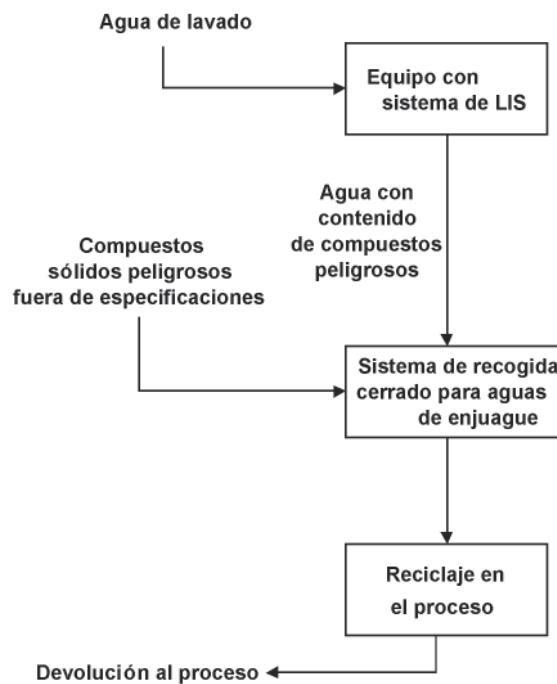
4.5.1. Sistemas de limpieza in situ (LIS) del equipo contaminado con compuestos sólidos peligrosos

Descripción

Durante la producción, se pueden acumular compuestos sólidos peligrosos (por ejemplo, cianuro sólido) en tuberías, máquinas y recipientes que, finalmente, pueden provocar que el equipo funcione incorrectamente o se bloquee. Un sistema de limpieza in situ (LIS) facilita la limpieza y el enjuague del equipo en un sistema cerrado. Con un sistema de este tipo, los trabajadores no están expues-

tos a emisiones peligrosas. El agua de enjuagado, que contenga el material peligroso, se recoge en un sistema de tuberías cerrado y se almacena en depósitos. El agua de enjuagado se recicla en producción siempre que sea posible para reducir el uso de agua dulce. Cuando los compuestos sólidos peligrosos son productos fabricados en la instalación, los productos que no cumplen las especificaciones pueden (si son solubles) disolverse en los depósitos de recogida del agua de enjuagado y reciclarse en el proceso con el fin de reducir la cantidad de residuos peligrosos generados. En la Figura 4.6 se muestra una vista esquemática de esta técnica.

Figura 4.6. Un sistema de limpieza in situ (LIS) del equipo contaminado con compuestos sólidos peligrosos



Ventajas medioambientales logradas

- No hay residuos que contengan compuestos peligrosos.
- Reciclado del agua residual que contiene compuestos peligrosos dentro del proceso.
- Reducción del consumo de materias primas (por ejemplo, agua dulce).
- Protección de los trabajadores.
- Reducción de las emisiones al medio ambiente y a las áreas de trabajo.

A modo de ejemplo, en la Tabla 4.24 se ofrecen los niveles de emisión conseguidos en una planta que produce cianuros en Alemania.

Tabla 4.24. Niveles de emisión conseguidos asociados al LIS del equipo contaminado con cianuros

	Concentración	Caudal másico	Referencia
Residuo sólido		0 kg/año	CyPlus, Alemania

Efectos cruzados

- Consumo de energía.

Datos operativos

A modo de ejemplo, en la Tabla 4.25 se ofrecen los datos operativos de una planta que produce cianuros en Alemania.

Tabla 4.25. Datos operativos para la limpieza del equipo contaminado con cianuros

	Caudal y concentración en la entrada del sistema de tratamiento		Referencia
Capacidad de tratamiento	Agua de enjuagado	Concentración de cianuro variable de 15 m ³ /h	CyPlus, Alemania
Eficacia global	99% ¹		

¹ El 1% restante de los cianuros se desintegra (por hidrólisis) en subproductos o acaba en la unidad de desintoxicación de cianuro

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Reducción de costes para el tratamiento de aguas residuales.
- Reducción de costes de las materias primas.

Impulsores de la implementación

- Reducción de las emisiones al medio ambiente y a las áreas de trabajo.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

4.5.2. Uso de un sistema informatizado de control para el funcionamiento de la instalación

Descripción

El funcionamiento de una planta de producción de SIC requiere la monitorización frecuente de numerosos parámetros, así como ajustes a las condiciones de proceso, en concreto, para garantizar la seguridad y el control medioambiental. Un sistema de control informatizado puede ayudar a monitorizar cientos de parámetros de proceso y efectuar automáticamente los ajustes necesarios para garantizar un funcionamiento eficaz, seguro y respetuoso con el medio ambiente. Gracias a un sistema de control informatizado, se pueden aplicar enclavamientos automáticos para evitar el sobrelleñado de los depósitos o para reducir la generación de aguas residuales. Asimismo, puede monitorizar de forma precisa las condiciones y así garantizar el máximo rendimiento de producción en el reactor.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones.
- Reducción de las aguas residuales contaminadas.
- Salud y seguridad de los trabajadores.
- Reducción del consumo de materias primas.
- Mayor rendimiento de producción.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

Puede que esta técnica no se pueda aplicar en determinados casos. Por ejemplo, la producción de SIC explosivas se basa en la intervención manual ya que los riesgos de detonación se detectan con frecuencia por la inspección visual que lleva a cabo el personal muy cualificado y con una dilatada experiencia.

Economía

- Ligera reducción en los costes de producción (por ejemplo, energía, tratamiento de residuos).

Impulsores de la implementación

- Control más eficaz de las condiciones de proceso.
- Reducción de las emisiones.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

4.6. Energía

4.6.1. Metodología de mínimos

Descripción

El sistema de mínimos es una metodología que se emplea en el sector químico con el fin de optimizar el proceso de producción frente a la utilización de energía. La metodología consta del examen del proceso de producción (incluso de varios procesos de producción de diferentes plantas), en relación con los flujos calientes y fríos, y en la creación de curvas compuestas de calor y frío en un diagrama de entalpía de temperatura que representa los requisitos de calefacción y de enfriamiento totales del proceso. El punto en el que las curvas compuestas de calor y de frío están a punto de tocarse se denomina sistema de mínimos (pinch), que indica la cantidad máxima posible de intercambio de calor de un proceso a otro.

Para obtener una descripción más exhaustiva de la técnica, véase BREF OFC [18, European IPPC Bureau, 2004].

Ventajas medioambientales logradas

- Optimización del equilibrio de energía en un lugar de producción.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Datos operativos

La clave para aplicar la metodología de mínimos en procesos no continuos es la extracción de datos. No hay atajos; las mediciones y las temporizaciones detalladas de todos los flujos de proceso son esenciales para encontrar opciones de ahorro de costes (= ahorro de energía).

Aplicabilidad

La aplicación del sistema de mínimos normalmente da como resultado la instalación de los equipos de la planta en lugares distintos a los que dictaría la lógica del flujo de producción. El diseño y la disposición puede dar como resultado equipos (por ejemplo, bombas, compresores o intercambiadores térmicos) y secciones de tuberías adicionales que producirían costes adicionales. También se debe tener en cuenta que la complejidad del sistema de control puede aumentar considerablemente; lo puede aumentar, por ejemplo, los riesgos de incidencias. La compatibilidad de las sustancias (fluidos) que intercambian calor se debe tener en cuenta para el diseño del equipo de intercambio térmico. Si las sustancias (fluidos) son muy incompatibles (por ejemplo, existe riesgo de explosión si las dos sustancias entran en contacto debido a problemas de corrosión), puede ser necesario, por motivos de seguridad, evaluar técnicas de ahorro de energía alternativas, por ejemplo, el intercambio de energía a través de un fluido intermedio.

La metodología de mínimos se utiliza mejor en la fase de concepción de instalaciones nuevas y grandes. La metodología de mínimos normalmente no se aplica a instalaciones ya existentes. Puede haber dificultades a la hora de aplicar el sistema de mínimos a instalaciones que funcionan de un modo no continuo (que es el caso de la inmensa mayoría de las instalaciones que producen, por ejemplo, pigmentos inorgánicos).

Economía

Se debe equilibrar el coste de capital adicional en comparación con una planta «clásica» mediante un ahorro de energía suficiente.

Documentación de referencia

BREF OFC [18, European IPPC Bureau, 2004]

4.7. Técnicas transfronterizas

4.7.1. Protección del suelo

Descripción

Las instalaciones en donde las sustancias (normalmente líquidos) puedan contaminar el suelo, las aguas superficiales o las aguas subterráneas, se crean, utilizan y mantienen de forma que no se produzcan derrames. Son estancas, esta-

bles y suficientemente resistentes frente a posibles tensiones mecánicas, térmicas o químicas. Las fugas se detectan rápidamente y con fiabilidad.

Las fugas de sustancias se retienen, tratan y eliminan de forma segura. Esto se lleva a cabo mediante la aplicación de un área de retención impermeable y estable según la cantidad de sustancia que se podría derramar antes de que otras medidas surtan efecto. Además, se pueden emplear equipos de doble pared con detección de fugas.

En el BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003] se describen las técnicas empleadas para prevenir emisiones al medio ambiente debidas al almacenamiento y el manejo de sólidos, líquidos y gases licuados.

Ventajas medioambientales logradas

- Prevención de la contaminación del suelo, las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Efectos cruzados

- Sin problemas.

Datos operativos

Las mediciones para la protección del suelo dependen del riesgo derivado de una sustancia tratada. Los volúmenes de retención empleados en algunas plantas de SIC se proporcionan en la Tabla 4.26.

Tabla 4.26. Ejemplos de plantas de SIC en cuanto a volúmenes de retención

Volúmenes de retención		
El mayor de los dos factores		
Planta A	110% de la capacidad del depósito o bidón mayor	25% de la capacidad de almacenamiento total
Planta B	100% de la capacidad del depósito o bidón mayor	10% de la capacidad de almacenamiento total

Se pueden aplicar las siguientes medidas operativas:

- Prueba y demostración de la integridad y la estanqueidad de todos los límites de estructura y su resistencia a la penetración de agua u otras sustancias.

- La carga y descarga de los materiales sólo se lleva a cabo en las áreas designadas que están protegidas contra fugas. A la espera de su eliminación, todos los materiales se recogen y almacenan en las áreas designadas que están protegidas contra fugas.
- Todos los sumideros de bomba u otras cámaras de la planta de tratamiento, donde se pueden producir derrames, están equipados con alarmas activadas por los altos niveles de líquido.
- Establecimiento y realización de un programa para la prueba e inspección de los depósitos y las tuberías.
- Realización de inspecciones de fugas en todas las bridas y válvulas de las tuberías que se emplean para el transporte de materiales que no sean agua. Se mantiene un registro de estas inspecciones.
- Sistema de captación para recoger las fugas de las bridas y válvulas en las tuberías que se emplean para el transporte de materiales que no sean agua, excepto cuando la construcción de las bridas o válvula sea técnicamente estanca.
- Suministro adecuado de barreras de contención y material absorbente adecuado.
- Prueba de todos los diques una vez cada tres o cinco años.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Prevención de la contaminación del suelo, las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Por normativa, todas las instalaciones químicas de Francia, Alemania y Países Bajos deben contar con medidas de protección del suelo.

Ejemplos de plantas

- Planta UEB en Galdácano, España
- Plantas de Thermpbos, Alemania.

Documentación de referencia

BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

4.7.2. Elevado nivel de educación y formación continua del personal

Descripción

El complejo proceso para producir SIC, el uso de tecnologías modernas, el hecho de que se pueden producir sustancias muy tóxicas y que pueden presentarse situaciones de emergencia suponen mucho estrés para el personal de la planta, en concreto, para los operarios de la planta. Para garantizar que las incidencias se mantienen al mínimo, que los accidentes se previenen y para reducir el riesgo de errores en las situaciones de emergencia, se ponen en marcha programas de educación y formación específicos. Además de una educación básica sólida en el campo de la ingeniería y las operaciones químicas, el personal de la planta recibe formación continua sobre el trabajo. Se pueden evaluar sus conocimientos periódicamente y el rendimiento se puede registrar después de exámenes escritos o prácticos. Además, todos los operarios reciben formación periódica sobre cómo responder ante situaciones de emergencia, sobre la salud y la seguridad en el trabajo y sobre las normativas de seguridad de producción y de transporte.

Debe tenerse en cuenta que las técnicas presentadas en las Secciones 4.7.3 y 4.7.6 también se relacionan con la educación y formación del personal.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de los riesgos de incidencias y accidentes que podrían provocar emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

Una mejor educación y una formación continua del personal conllevan una mejor toma de decisiones para afrontar los problemas (incluidos los incidentes y las situaciones de emergencia) y, finalmente, una reducción de los costes de producción.

Impulsores de la implementación

- Estándares de seguridad mejorados encaminados a la reducción de riesgos medioambientales.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

4.7.3. Aplicación de un código industrial (CI)

Descripción

Los códigos industriales (por ejemplo, el Código Internacional de Gestión del Cianuro) se desarrollan para garantizar estándares muy estrictos en materia de seguridad, medio ambiente y calidad en la producción, transporte y uso de sustancias químicas (por ejemplo, cianuros) de modo que las personas y el medio ambiente estén protegidos. La aplicación de los códigos en las plantas de producción de SIC supone actividades como auditoría, certificación y formación del personal de la planta.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción en el impacto medioambiental global de la producción.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

No se obtiene ahorro por la aplicación del código. Los costes dependen de los estándares que un fabricante de SIC ya ha aplicado; por lo tanto, significa menos costes para los fabricantes que ya cuentan con un sistema de gestión medioambiental sólido y más costes para lo que no cuenten con él.

La auditoría puede durar un día y los preparativos internos para la auditoría pueden durar de unos días a varias semanas con los costes que eso conlleva, por ejemplo, los de personal.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

4.7.4. Recogida y tratamiento del agua de lluvia

Descripción

Debido a que los equipos y los pavimentos empleados en la producción de sustancias SIC no siempre están protegidos de la lluvia (es decir, mediante la colocación de los equipos en edificios cerrados), puede ser necesario recoger el agua de lluvia para comprobar si se ha contaminado por el lixiviado de los equipos y de los pavimentos y, en caso de que sea así, enviarla a tratamiento antes de liberarla en el agua receptora. El agua de lluvia sin contaminar se puede descargar directamente en el agua receptora siempre que se respeten las condiciones de monitorización adecuadas.

Los parámetros de las técnicas de monitorización y prevención de la contaminación que se deben aplicar según los resultados de la monitorización dependerán, en concreto, de las actividades efectuadas en la instalación y su importancia en el agua receptora, así como la intensidad y la duración del agua de lluvia, que tienen variaciones regionales importantes. Los parámetros típicos que se pueden monitorizar rápidamente durante los períodos de lluvia son, por ejemplo, pH, turbiedad, COT, color y materiales en suspensión. La frecuencia de la monitorización (por ejemplo, continua o periódica) depende de una combinación de varios factores, como la frecuencia de la lluvia, el tamaño de la instalación (por lo general, en las PYMES es menos probable que se utilice la monitorización continua y que tengan más dificultades para almacenar el agua de lluvia), así como las actividades que se llevan a cabo en la instalación y su importancia para las aguas receptoras.

A continuación se ofrecen algunos ejemplos de las técnicas de prevención de la contaminación.

Según la carga de contaminantes, el agua de lluvia contaminada se suele tratar en una depuradora (biológica) central o mediante una clarificadora de aguas pluviales (tratamiento mecánico). Se eliminan el lodo y la espuma producidos. Otra opción es recoger el primer lavado de las aguas pluviales en un depósito de almacenamiento y dirigirlo a la planta de tratamiento lentamente; lo que se des-

borde se descargará en el agua receptora. En el caso de ríos sensibles, el caudal de la descarga/desbordamiento de las aguas pluviales se debe limitar para evitar la erosión del cauce.

Para evitar la liberación de contaminación en la instalación química de Marl en Alemania, el agua de lluvia liberada directamente en el agua receptora (que se supone sin contaminar) se monitoriza continuamente para detectar la presencia de contaminación como procedimiento de precaución. Si se detecta contaminación, se detiene la descarga directa en el agua receptora y el agua de lluvia se almacena antes de dirigirla al tratamiento.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones difusas en el agua receptora.
- Prevención de derrames importantes.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Datos operativos

En la instalación química de Marl existe una monitorización continua de los siguientes parámetros en los conductos de agua de lluvia y de agua de refrigeración:

- pH;
- COT (medido mediante un analizador de procesos con una frecuencia de muestreo de una muestra cada tres o cinco minutos);
- materiales en suspensión;
- turbiedad (medida en una celda de flujo continuo);
- toxicidad para los peces (medida en un depósito para peces de flujo continuo con orfes dorados como especie de prueba);
- compuestos orgánicos volátiles (de forma voluntaria).

Cuando se encuentran valores elevados (incluso para la turbiedad en el primer lavado de las aguas pluviales), el agua de lluvia se almacena y se trata en la depuradora central antes de su descarga al río Lippe.

Aplicabilidad

Puede que la monitorización continua no resulte viable desde el punto de vista económico en instalaciones pequeñas con volúmenes reducidos de agua de lluvia

en comparación con el volumen total del agua residual que se ha de tratar. En estas instalaciones se puede optar por conducir sistemáticamente el agua de lluvia al sistema de tratamiento independientemente de si está contaminada o no.

Ejemplos de plantas

- Instalación química de Marl en Alemania.

4.7.5. Evaluación de la seguridad

En este documento se incluye la evaluación de la seguridad ya que puede contribuir a prevenir accidentes con posibles repercusiones medioambientales importantes. No obstante, esta cuestión no se puede tratar en su totalidad en este documento. El campo de la seguridad de procesos es mucho más amplio que el presentado aquí y esta sección se debe considerar como una visión general.

4.7.5.1. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

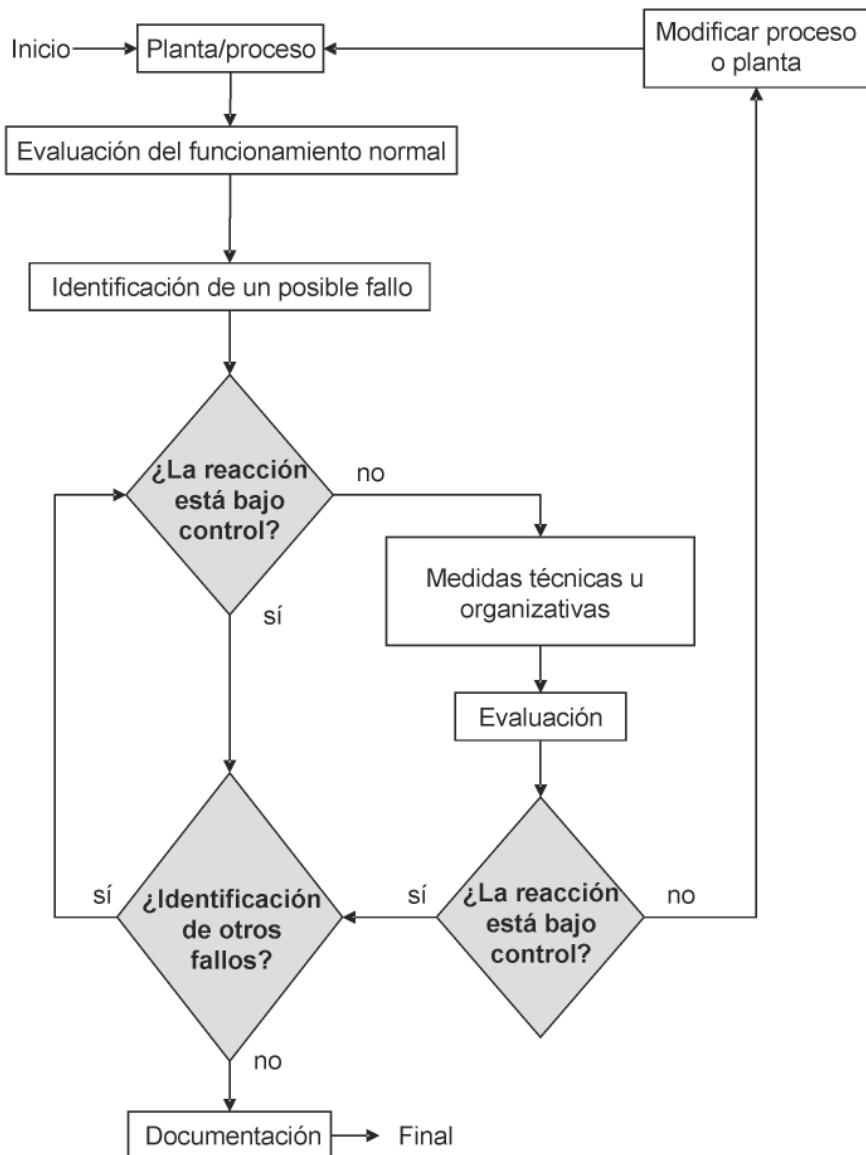
Descripción

Una evaluación de seguridad estructurada para una reacción en un determinado proceso en una planta concreta se puede llevar a cabo según el esquema ofrecido en la Figura 4.7. La evaluación se realiza para el funcionamiento normal (véase Figura 4.8) y tiene en cuenta los efectos debido a las desviaciones del proceso químicos y a las desviaciones en el funcionamiento de la planta (véase Tabla 4.7).

Todos los datos de seguridad físico-química pertinentes de las sustancias y las reacciones se deben evaluar con respecto al equipo necesario junto con las precauciones de seguridad técnica y organizativa. Los parámetros físico-químicos importantes que se deben tener en cuenta son, por ejemplo:

- entalpías de reacción (ΔH_R) tanto para la reacción en cuestión como para las posibles reacciones secundarias (por ejemplo, descomposición);
- posible evolución de gases (M) y el índice de la evolución de los gases (dM/dt) o los parámetros derivados correspondientes de la reacción o la posible descomposición;
- índice de la producción térmica (dQ_R/dt), donde resulte adecuado como una función de temperatura;
- capacidad de eliminación térmica total del sistema (dQ_K/dt);
- temperatura límite (T_{exo}) para la estabilidad térmica de las sustancias en cuestión y las mezclas de reacción en condiciones de proceso;

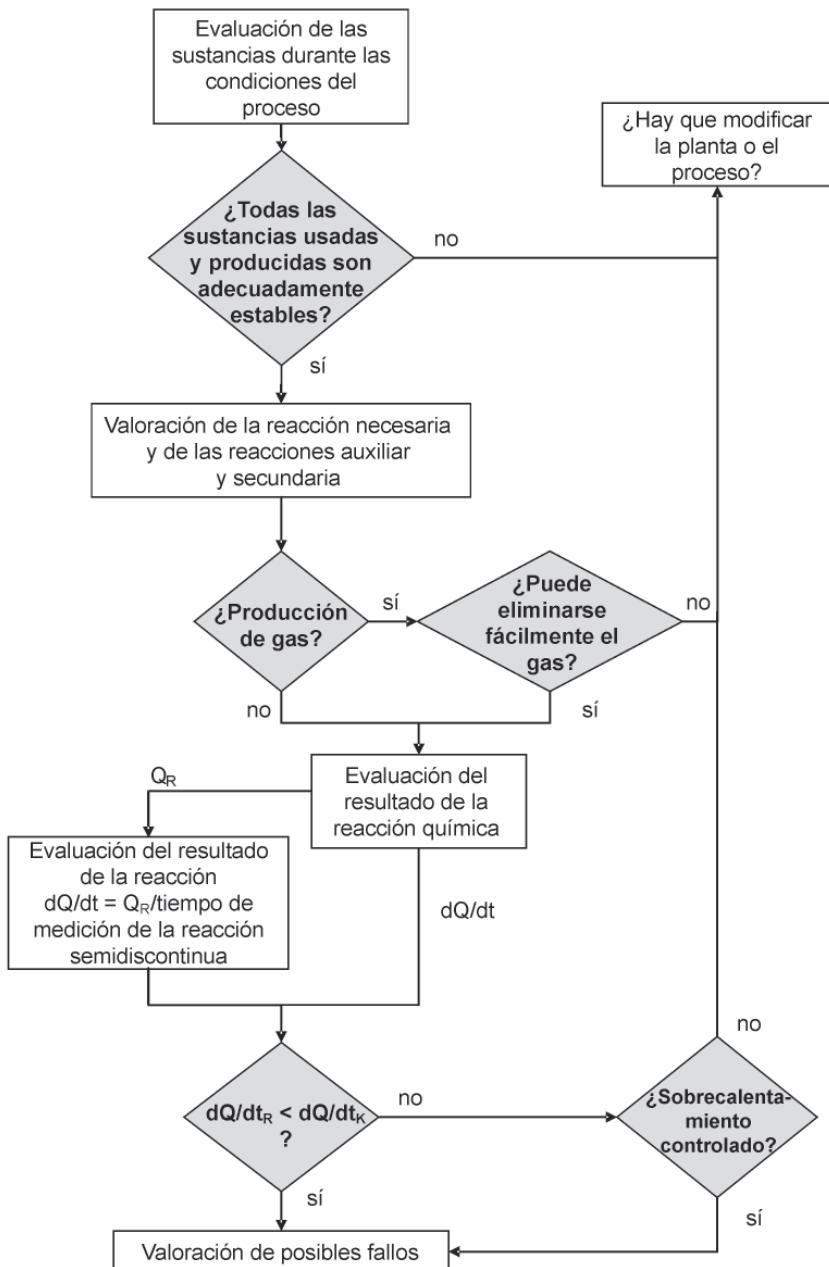
Figura 4.7. Procedimiento de evaluación de la seguridad



Nota: (*) véase Figura 4.8

Tabla 4.27. Plantilla para analizar los efectos debidos a las desviaciones de los procesos químicos o al funcionamiento de la planta

Error provocado por	ΔH_R	dM/dt	$(dQ_R/dt) - (dQ_K/dt)$	T_{exo}	Δn sust.
Efectos debidos a las desviaciones de los procesos químicos					
Materias primas (especificaciones, naturaleza, propiedades), por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> contaminación con efecto catalítico concentración aumentada/reducida residuos por un uso anterior descomposición de activadores/inhibidores (por ejemplo, como resultado de un almacenamiento prolongado) 					
Presencia de materias primas/materiales auxiliares, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> disolvente empleado favorecedor de solución activador/inhibidor 					
Medición, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> sustancia errónea, cantidades/relaciones erróneas secuencia de medición cambiada índice de medición erróneo 					
Condiciones de reacción, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> cambio del valor del pH aumento/reducción de la temperatura tiempo de reacción/residencia, inicio de reacción retrasado aumento de subproductos/residuos 					
Mezcla, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> agitación inadecuada separación de sólidos/catalizadores 					
Efectos debidos a las desviaciones en el funcionamiento de la planta					
Disponibilidad de energía auxiliar, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> aire comprimido, nitrógeno corriente eléctrica medio de calentamiento, medio de enfriamiento ventilación 					
Medio de calentamiento/enfriamiento (temperatura), por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> temperatura por encima/por debajo de la temperatura definida para una funcionamiento seguro de proceso 					
Equipo de proceso, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> fallo 					
Flujos de materiales, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> fallo de bombas/válvulas funcionamiento incorrecto de las válvulas bloqueo de líneas/válvulas/accesorios (en concreto, tubos de ventilación) reflujo de otras partes de la planta 					
Nivel de llenado, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> sobrellenado pérdidas de una válvula inundación de condensadores (intercambiadores térmicos) 					
Agitación, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> fallo incremento de la viscosidad introducción mecánica de calor 					
Integridad de los componentes, por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> corrosión (en concreto, con desbordamiento de material resultante de los sistemas de transferencia térmica y hacia ellos) daño mecánico 					

Figura 4.8. Estrategia de evaluación iterativa para las operaciones normales

- formación de nuevos productos o subproductos no deseados («n sust.), que llevan un aumento en la entalpía de reacción o la formación de gases, o una reducción de la temperatura límite (T_{exo}).

Entre las medidas para garantizar que un proceso se pueda controlar de forma adecuada se incluyen (sin clasificarlas):

Medidas preventivas	Medidas de diseño
(preferidas) - medidas organizativas - conceptos que implican técnicas de ingeniería de control - sistemas para detener reacciones - refrigeración de emergencia	- construcción resistente a la presión - alivio de presión incluido un volumen de captura suficiente

Ventajas medioambientales logradas

- Prevención de accidentes importantes y liberaciones de sustancias.

Aplicabilidad

- Similar a las reacciones químicas y también aplicables a otras operaciones, por ejemplo, secado o destilación.
- Un ejemplo de seguridad importante es la manipulación de polvos orgánicos o vapores disolventes.

Economía

- Costes adicionales para medidas de seguridad.
- Costes elevados en el caso de una construcción resistente a la presión.

Impulsores de la implementación

- Seguridad de procesos.

Documentación de referencia

BREF OFC [18, European IPPC Bureau, 2004].

4.7.5.2. PREVENCIÓN DE REACCIONES DESCONTROLADAS

Descripción

Las consecuencias de una reacción descontrolada pueden ser graves. Por lo tanto, las instalaciones deben centrarse en la prevención de las condiciones favorables para un desvío de la reacción a través del control de diseño del proceso, el instrumental y los enclavamientos para evitar la repetición de situaciones similares. En las instalaciones se deben adoptar las siguientes medidas para prevenir las reacciones descontroladas:

- Modificar los procesos para mejorar la seguridad inherente. Considerar la posibilidad de emplear procesos más seguros de forma inherente para reducir la dependencia de los controles administrativos.
- Reducir la posibilidad de errores humanos.
- Conocer las circunstancias que pueden provocar una sobre presión y, finalmente, la ruptura del depósito.
- Utilizar las experiencias aprendidas. Ir más allá del error del control de calidad y del operario e identificar las auténticas causas.
- Evaluar los procedimientos operativos estándar (SOP).
- Evaluar la formación y la supervisión de los empleados.
- Evaluar las medidas para inhibir una reacción descontrolada (por ejemplo, neutralización o enfriamiento atemperado).
- Evaluar la eficacia del sistema de alivio de emergencia.

Ventajas medioambientales logradas

- Prevención de las reacciones descontroladas y las consecuencias relacionadas.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general, en concreto en el caso de reacciones exotérmicas.
- También se resulta adecuado para productos almacenados con posibilidad de reacción automática.

Impulsores de la implementación

- Prevención de accidentes y emisiones posteriores al medio ambiente.

Documentación de referencia

BREF OFC [18, European IPPC Bureau, 2004].

4.7.6. Instrumentos de gestión medioambiental

Descripción

El mejor comportamiento medioambiental se suele conseguir mediante la instalación de la mejor tecnología y su puesta en funcionamiento de la forma más efectiva y eficiente posible. Esto lo reconoce la Directiva IPPC, que define «técnicas» como la «tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida, explotada y desmantelada».

Para las instalaciones IPPC, un sistema de gestión medioambiental es una herramienta que los titulares pueden utilizar para abordar de una manera sistemática y objetiva las cuestiones de diseño, construcción, mantenimiento, funcionamiento y desmantelamiento. Un sistema de gestión medioambiental incluye la estructura organizativa, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para el desarrollo, puesta en marcha, mantenimiento, revisión y monitorización de la política medioambiental. Los sistemas de gestión medioambiental son más efectivos y eficientes cuando forman parte integrante de la gestión y el funcionamiento globales de una instalación.

En el marco de la Unión Europea, muchas organizaciones han decidido de forma voluntaria aplicar sistemas de gestión medioambiental basados en la EN ISO 14001:2004 o el reglamento comunitario de ecogestión y ecoauditoría EMAS. EMAS incluye los requisitos para un sistema de gestión de la EN ISO 14001, pero pone especial énfasis en el cumplimiento de la legalidad, el comportamiento medioambiental y la implicación de los empleados; requiere también verificación externa del sistema de gestión y validación mediante una declaración medioambiental pública (en la EN ISO 14001 la autodeclaración es una verificación externa alternativa). También muchas organizaciones han decidido poner en marcha sistemas de gestión medioambientales no estandarizados.

Aunque tanto los sistemas estandarizados (EN ISO 14001:2004 y EMAS) como los sistemas no estandarizados («personalizados») toman, en principio, la organización como la entidad, este documento restringe el enfoque y no incluye todas las actividades de la organización, como es el caso de sus productos y servicios, puesto que la entidad regulada bajo la Directiva IPPC es la instalación (tal y como se define en el Artículo 2).

Un sistema de gestión medioambiental para una instalación IPPC puede contener los siguientes componentes:

- (a) Definición de una política medioambiental.
- (b) Planificación y establecimiento de objetivos.
- (c) Aplicación y funcionamiento de los procedimientos.
- (d) Control y acciones correctivas.

- (e) Revisión de la gestión.
- (f) Preparación de una declaración medioambiental.
- (g) Validación por parte de un organismo de certificación o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental.
- (h) Consideraciones de diseño para el desmantelamiento de la planta al final de su vida útil.
- (i) Desarrollo de tecnologías más limpias.
- (j) Indicadores de referencia.

Estas características se explican con mayor detalle a continuación. Para obtener información detallada sobre los componentes (a) a (g), todos ellos incluidos en el EMAS, véase también la documentación de referencia indicada más adelante.

(a) Definición de una política medioambiental

Los altos directivos son responsables de definir una política medioambiental para una instalación que garantice que:

- Sea apropiada a la naturaleza, la escala y el impacto medioambiental de las actividades.
- Incluya un compromiso para la prevención y el control de la contaminación.
- Incluya un compromiso de cumplir con todas las regulaciones y legislaciones medioambientales aplicables y con otras obligaciones que suscriba la organización.
- Ofrezca el marco adecuado para llevar a cabo el planteamiento y la revisión de los objetivos medioambientales.
- Se documente y comunique a todos los empleados.
- Esté disponible al público y a todas las partes interesadas.

(b) Planificación, por ejemplo:

- Procedimientos para identificar los aspectos medioambientales de la instalación que permitan determinar las actividades que tienen o pueden tener un impacto importante en el entorno, y para mantener actualizada dicha información.
- Procedimientos para identificar y brindar acceso a obligaciones legales y otras obligaciones que la organización suscriba y que se puedan aplicar a los aspectos medioambientales de sus actividades.
- Fijación y revisión de los objetivos medioambientales documentados, teniendo en cuenta los requisitos legales y otros requisitos, así como la opinión de las partes interesadas.
- Fijación y actualización periódica de un programa de gestión medioambiental que incluya la designación de responsabilidades para la consecución de los objetivos en cada función y nivel relevante, así como los medios y el plazo de tiempo que delimitarán dicha consecución.

(c) Aplicación y funcionamiento de los procedimientos

Es importante contar con sistemas implantados que garanticen que los procedimientos se conocen, se entienden y se cumplen; por lo tanto, una gestión medioambiental efectiva incluye:

- (i) Estructura y responsabilidad
 - Definición, documentación y comunicación de funciones, responsabilidades y autoridades; esto conlleva el nombramiento de un representante específico para la gestión.
 - Obtención de los recursos imprescindibles para la aplicación y el control del sistema de gestión medioambiental, entre los que se incluyen los recursos humanos y los conocimientos especializados, la tecnología y los recursos financieros.
- (ii) Formación, conciencia y competencia
 - Identificación de las necesidades de formación para garantizar que todo el personal cuyo trabajo puede afectar de forma significativa al impacto medioambiental de la actividad reciba la formación adecuada.
- (iii) Comunicación
 - Determinación y mantenimiento de procedimientos de comunicación interna entre los diversos niveles y funciones de la instalación, de procedimientos que fomenten el diálogo con terceras partes interesadas, y procedimientos para recibir, documentar y, en caso necesario, responder a comunicaciones importantes por parte de terceras partes interesadas.
- (iv) Implicación de los empleados
 - Implicación de los empleados en el proceso para conseguir un alto nivel de comportamiento medioambiental, aplicando las formas adecuadas de participación, tales como un libro de sugerencias, grupos de trabajo basados en proyectos o comités medioambientales.
- (v) Documentación
 - Determinación y mantenimiento actualizado de la información, en papel o formato electrónico, para describir los elementos principales del sistema de gestión y su interacción facilitar orientación sobre documentación relacionada.
- (vi) Proceso de control eficiente
 - Control adecuado de los procesos en cualquier modo de funcionamiento, es decir, preparación, arranque, operaciones rutinarias, apagado y condiciones anómalas.

- Identificación de los principales métodos e indicadores de rendimiento para medir y controlar estos parámetros (por ejemplo, flujo, presión, temperatura, composición y cantidad).
 - Documentación y análisis de condiciones de funcionamiento anómalas para identificar la raíz del problema, solucionarlo y evitar que vuelva a producirse. Esto se puede conseguir, en mayor medida, aplicando una cultura de no culpabilidad, mediante la cual la identificación de las causas es más importante que el descubrimiento y culpabilización del causante.
- (vii) Programa de mantenimiento
- Creación de un programa de mantenimiento estructurado, basado en descripciones técnicas del equipo, normas, etc., así como de posibles fallos del equipo y sus consecuencias.
 - Apoyo del programa de mantenimiento con los sistemas adecuados de registro y pruebas de diagnóstico.
 - Reparto claro de responsabilidades para la planificación y la ejecución del mantenimiento.
- (viii) Preparación y respuesta ante emergencias
- Determinación y mantenimiento de procedimientos para identificar accidentes y posibles situaciones de emergencia, preparar la respuesta, y prevenir y mitigar el impacto medioambiental que puedan llevar asociado.
- (d) Control y acciones correctivas, por ejemplo:
- (i) Monitorización y mediciones
- Determinación y mantenimiento de procedimientos documentados para monitorizar y medir con regularidad las características principales de las operaciones y actividades que pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, incluidos el registro de la información sobre el nivel de seguimiento, los controles operativos relevantes y el cumplimiento de los objetivos medioambientales de la instalación (véase también el documento de referencia sobre monitorización de emisiones).
 - Determinación y mantenimiento de un procedimiento documentado que evalúe periódicamente el cumplimiento de la legislación y las regulaciones medioambientales pertinentes.
- (ii) Acción correctiva y preventiva
- Determinación y mantenimiento de procedimientos que definan la responsabilidad y la autoridad en la gestión e investigación de condiciones no conformes con los permisos, otras obligaciones legales y también los objetivos, las acciones pertinentes para mitigar los posibles impactos provocados y la puesta en marcha de acciones

correctivas y preventivas apropiadas a la magnitud del problema y proporcionales al impacto medioambiental producido.

- (iii) Registros
 - Determinación y mantenimiento de procedimientos para la identificación, el mantenimiento y la disposición de registros medioambientales legibles, identificables y fáciles de encontrar, incluidos los registros de formación y los resultados de las auditorías y las revisiones.
 - (iv) Auditoría
 - Determinación y mantenimiento de programas y procedimientos para la realización de auditorías periódicas sobre el sistema de gestión medioambiental que incluyan entrevistas con el personal, inspección de las condiciones de funcionamiento y del equipo, y revisión de los registros y la documentación, y que redunden en un informe por escrito realizado de forma imparcial y objetiva por los empleados (auditorías internas) o por empresas externas (auditorías externas), que cubran el ámbito, la frecuencia y las metodologías de la auditoría, así como las responsabilidades y las obligaciones para la realización de auditorías y el registro de los resultados, con el fin de determinar si el sistema de gestión medioambiental se ajusta o no a los términos planificados y si la implementación y el mantenimiento son correctos.
 - Realización de la auditoría o del ciclo de auditorías, cuando sea apropiado, a intervalos nunca superiores a tres años, dependiendo de la naturaleza, escala y complejidad de las actividades, la importancia de los impactos medioambientales asociados, la importancia y la urgencia de los problemas detectados en anteriores auditorías, y el histórico de los problemas medioambientales: las actividades más complejas y con un impacto medioambiental más significativo se auditán con mayor frecuencia.
 - Establecimiento de los mecanismos adecuados para garantizar que los resultados de la auditoría se pongan en práctica.
 - (v) Evaluación periódica del cumplimiento legal
 - Análisis del cumplimiento de la legislación medioambiental aplicable y de las condiciones de los permisos medioambientales que mantiene la instalación.
 - Documentación de la evaluación.
- (e) Revisión de la gestión, por ejemplo:
- Revisión, por parte de la alta dirección, en los intervalos que se determine, del sistema de gestión medioambiental, para garantizar su idoneidad, adecuación y efectividad en todo momento.

- Certificar que se recoge toda la información necesaria para que la dirección pueda llevar a cabo esta evaluación.
- Documentación de la revisión.

(f) Preparación de una declaración medioambiental:

- Preparación de una declaración medioambiental que preste especial atención a los resultados obtenidos por la instalación y los compare con sus objetivos medioambientales. Se redacta con regularidad (una vez al año o con menos frecuencia), dependiendo de la importancia de las emisiones, la generación de residuos, etc. Tiene en cuenta las necesidades informativas de terceras partes que puedan estar interesadas, y está a disposición del público (por ejemplo, en publicaciones electrónicas, bibliotecas, etc.).

Cuando se redacta una declaración, el titular puede utilizar indicadores de comportamiento medioambiental importantes ya existentes, garantizando que los indicadores elegidos:

- i. Ofrecen una evaluación adecuada del comportamiento de la instalación.
- ii. Se entienden y no son ambiguos.
- iii. Permiten realizar una comparación anual para evaluar el desarrollo del comportamiento medioambiental de la instalación.
- iv. Permiten realizar comparaciones con referentes sectoriales, nacionales o regionales cuando sea apropiado.
- v. Permiten realizar comparaciones con obligaciones reguladoras cuando sea apropiado.

(g) Validación por parte de un organismo de certificación o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental

- Al contar con la validación por parte de un organismo de certificación o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental, del sistema de gestión, de la auditoría y de la declaración medioambiental, se consigue, si se lleva a cabo de la forma adecuada, mejorar la credibilidad del sistema.

(h) Consideraciones de diseño para el desmantelamiento de la planta al final de su vida útil:

- Tener en cuenta el impacto medioambiental que conllevará el desmantelamiento final de la unidad a la hora de diseñar una planta nueva, como medida previsora que permite realizar un desmantelamiento más sencillo, limpio y económico.
- El desmantelamiento plantea riesgos medioambientales por la contaminación de la tierra (y las aguas subterráneas), y genera enormes cantidades de residuos sólidos. Las técnicas preventivas son específicas para cada

proceso, pero hay que tener en cuenta una serie de consideraciones generales:

- i. Evitar estructuras subterráneas.
- ii. Incorporar características que faciliten el desmantelamiento.
- iii. Elegir acabados de superficie de fácil descontaminación.
- iv. Emplear una configuración de equipo que minimice los productos químicos atrapados y facilite el drenaje o la limpieza.
- v. Diseñar unidades flexibles independientes que permitan un cierre por fases.
- vi. Emplear materiales biodegradables y reciclables siempre que sea posible.

(i) Desarrollo de tecnologías más limpias:

- La protección del medio ambiente debe erigirse en factor integrante de cualquier actividad de diseño del proceso que lleve a cabo el titular, puesto que las técnicas incorporadas en las primeras fases del diseño son más efectivas y económicas. Las actividades o los estudios de I+D pueden, por ejemplo, brindar importancia al desarrollo de tecnologías más limpias. Como alternativa a las actividades internas, se pueden desarrollar planes para estar al día, cuando corresponda, del trabajo realizado por otros titulares o institutos de investigación activos en el campo concreto.

(j) Indicadores de referencia, por ejemplo:

- Elaboración sistemática y periódica de comparaciones con referentes sectoriales, nacionales o regionales, en aspectos tales como la eficiencia energética y las actividades de conservación de energía, la elección de materiales de entrada, las emisiones a la atmósfera y los vertidos en el agua (utilizando, por ejemplo, el registro europeo de emisiones contaminantes, EPER), el consumo de agua y la generación de residuos.

Sistemas de gestión medioambiental estandarizados y no estandarizados

Un sistema de gestión medioambiental puede adoptar un sistema estandarizado o no estandarizado («personalizado»). La aplicación y el cumplimiento de un sistema estandarizado aceptado internacionalmente, como es el caso de la EN ISO 14001:2004, dota de mayor credibilidad al sistema en cuestión, sobre todo si está sujeto a una verificación externa rigurosa. EMAS ofrece un punto de credibilidad adicional, puesto que interactúa con el público mediante la declaración medioambiental y el mecanismo que garantizan el cumplimiento de la legislación medioambiental aplicable. Sin embargo los sistemas no estandarizados pueden ser, en principio, igualmente efectivos, siempre y cuando su diseño y su aplicación sean los adecuados.

Ventajas medioambientales logradas

La aplicación y el cumplimiento de un sistema de gestión medioambiental consiguen que el titular preste mayor atención al comportamiento medioambiental de la instalación. En particular, el mantenimiento y el cumplimiento de unos procedimientos operativos claros para afrontar situaciones tanto normales como anómalas, así como las líneas de responsabilidad asociadas, garantizan que en todo momento se cumplan las condiciones de autorización de la instalación y otros objetivos medioambientales.

En general, los sistemas de gestión medioambiental garantizan la mejora continua del comportamiento medioambiental de la instalación. Cuanto más pobre sea el punto de partida, más significativas serán las mejoras a corto plazo que puedan esperarse. Si la instalación ofrece ya un buen comportamiento medioambiental, el sistema ayuda al titular a mantener un alto nivel de comportamiento medioambiental.

Efectos cruzados

Las técnicas de gestión medioambiental están pensadas para rebajar el impacto medioambiental global, aspecto que coincide con el enfoque integrado de la Directiva IPPC.

Datos operativos

No hay información específica registrada.

Aplicabilidad

Los componentes descritos anteriormente son de aplicación en todas las instalaciones IPPC. El alcance (por ejemplo, el nivel de detalle) y la naturaleza de las MTD (por ejemplo, estandarizadas o no estandarizadas) estarán relacionados, por norma general, con la naturaleza, la escala y la complejidad de la instalación, y con el carácter del impacto medioambiental que pueda tener.

Economía

Resulta complicado determinar con precisión los costes y las ventajas económicas resultantes de la introducción y el mantenimiento de un buen sistema de gestión medioambiental. A continuación presentamos una serie de estudios. No obstante, se trata de simples ejemplos y sus resultados no son del todo coheren-

tes. Tal vez no representen a todos los sectores de la UE y, por lo tanto, conviene analizarlos con precaución.

Un estudio sueco, realizado en 1999, encuestó a las 360 empresas con certificación ISO y registro EMAS de Suecia. Tras recoger un 50% de las respuestas, se extrajeron, entre otras, las siguientes conclusiones:

- Los gastos que conlleva la introducción y el manejo de un sistema de gestión medioambiental son altos pero no desproporcionados, excepto en el caso de empresas muy pequeñas. Los gastos han de ir decreciendo con el paso del tiempo.
- Es posible reducir costes si se establece un alto grado de coordinación e integración del sistema de gestión medioambiental con otros sistemas de gestión.
- La mitad de los objetivos medioambientales dan sus frutos al cabo de un año; se reducen los costes y/o aumentan los ingresos.
- El mayor ahorro de costes se produjo al reducirse el gasto en energía, materias primas y tratamiento de residuos.
- Casi todas las empresas creen que su posición en el mercado se ha reforzado gracias al sistema de gestión medioambiental. Un tercio de las empresas certifican un aumento de los ingresos gracias al sistema de gestión medioambiental.

En algunos Estados miembros, si la instalación cuenta con algún tipo de certificado, se aplica un descuento a los honorarios de supervisión.

Algunos estudios demuestran que hay una relación inversa entre el tamaño de la empresa y los costes de implementación de un sistema de gestión medioambiental. Similar es la relación que afecta al período de recuperación del capital invertido. De ambos elementos se deduce que en las PYMES la relación entre costes y beneficios es menos favorable que en el caso de grandes empresas.

Según un estudio suizo, el coste medio de elaboración y aplicación de la norma ISO 14001 puede variar:

- Para una empresa de entre 1 y 49 empleados: 64.000 francos suizos (44.000 euros) para elaborar los sistemas de gestión medioambiental y 16.000 francos suizos (11.000 euros) al año en mantenimiento.
- Para una planta industrial con más de 250 empleados: 367.000 francos suizos (252.000 euros) para elaborar los sistemas de gestión medioambiental y 155.000 francos suizos (106.000 euros) al año en mantenimiento.

Estas cifras aproximadas no representan necesariamente el coste real para cualquier planta industrial, ya que el importe dependerá, en gran medida, de diversos aspectos relevantes (contaminantes, consumo de energía...) y de la complejidad de los problemas que se van a analizar.

Un reciente estudio alemán (Schaltegger, Stefan y Wagner, Marcus, Umweltmanagement in deutschen Unternehmen - der aktuelle Stand der Praxis, febrero 2002, p. 106) presenta los siguientes gastos en sistemas de gestión medioambiental en diversos ámbitos. Cabe destacar que estas cifras son muy inferiores a las del estudio suizo citado con anterioridad. Se confirma así la dificultad que conlleva determinar los costes de un sistema de gestión medioambiental.

Costes de elaboración (euros):

mínimo	-	18.750
máximo	-	75.000
medio	-	50.000

Costes de validación (euros):

mínimo	-	5.000
máximo	-	12.500
medio	-	6.000

Un estudio llevado a cabo por el Instituto Alemán de Empresarios (Unternehmerinstitut/Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer UNI/ ASU, 1997, Umweltmanagementbefragung - Öko-Audit in der mittelständischen Praxis - Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxis, Bonn.) brinda información sobre el ahorro medio anual gracias a los sistemas de gestión medioambiental y el tiempo aproximado que tarda en recuperarse la inversión. Por ejemplo, para costes de implementación de 80.000 euros obtuvieron un ahorro de 50.000 euros por año, correspondiente a un período de amortización de un año y medio.

Para calcular los costes externos, relativos a la verificación del sistema, se puede acudir al Foro Internacional de Acreditación (International Accreditation Forum) (<http://www.iaf.nu>).

Impulsores de la implementación

Los sistemas de gestión medioambiental ofrecen diversas ventajas, como por ejemplo:

- Mejor comprensión de los aspectos medioambientales de la empresa.
- Mejor base para la toma de decisiones.
- Mayor motivación del personal.
- Oportunidades adicionales para la reducción de costes operativos y mejora de la calidad del producto.
- Mejor comportamiento medioambiental.

- Mejor imagen de la empresa.
- Reducción de gastos por responsabilidad, seguros y no conformidad.
- Mayor atractivo de cara a empleados, clientes e inversores.
- Mayor confianza de los reguladores, que puede redundar en una menor supervisión reguladora.
- Mejores relaciones con los grupos ecologistas.

Ejemplos de plantas

Las características descritas anteriormente en los puntos (a) a (e) son elementos de EN ISO 14001:2004 y del European Community Eco-Management and Audit Scheme (EMAS); las características (f) y (g) son específicas del EMAS. Estos dos sistemas estandarizados se aplican en una serie de instalaciones IPPC. Por ejemplo, 357 organizaciones pertenecientes a la industria química y de productos químicos de la UE (código 24 de NACE) estaban registradas en el EMAS en julio de 2002, y la mayoría funciona con instalaciones IPPC.

En el Reino Unido, la Agencia Medioambiental de Inglaterra y Gales realizó una encuesta en 2001 entre diversas instalaciones reguladas por IPC (antecesora de IPPC). Demostró que el 32% de las empresas encuestadas cumplían la certificación ISO 14001 (el equivalente al 21% de todas las instalaciones IPC) y que el 7% estaban registradas en el EMAS. Todas las fábricas de cemento del Reino Unido (unas 20) tienen la certificación ISO 14001 y la gran mayoría están registradas en el EMAS. En Irlanda, donde se requiere un sistema de gestión medioambiental (no necesariamente estandarizado) para obtener licencias IPC, se estima que 100 de cada 500 instalaciones con licencia han establecido un sistema de gestión medioambiental que cumple la normativa ISO 14001; las otras 400 han optado por un sistema de gestión medioambiental no estandarizado.

Documentación de referencia

(Regulación (CE) N° 761/2001 del Parlamento y el Consejo europeos que permite la participación de las organizaciones en un reglamento comunitario de ecogestión y ecoauditoría (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm)

(EN ISO 14001: 2004, <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>; <http://www.tc207.org>)

5. Mejores técnicas disponibles genéricas

Para entender este capítulo y su contenido emplazamos al lector a repasar el prefacio de este documento y, en particular, la quinta sección del prefacio: «Cómo entender y utilizar este documento». Las técnicas y los niveles, o los intervalos de niveles, de consumo y/o de emisión asociados presentados en este capítulo se han evaluado mediante un proceso iterativo dividido en las siguientes etapas:

- Identificación de las cuestiones medioambientales clave del sector.
- Revisión de las técnicas más relevantes para solventar estas cuestiones clave.
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental sobre la base de los datos disponibles en la Unión Europea y el resto del mundo.
- Revisión de las condiciones mediante las que se consiguen estos niveles de comportamiento; costes, efectos cruzados y los principales impulsores involucrados en la implementación de las técnicas.
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y los niveles de consumo y/o emisión asociados para este sector en un sentido general, todo ello según el artículo 2(11) y el anexo IV de la directiva.

El juicio experto de la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación y del grupo técnico de trabajo relevante ha desempeñado un papel fundamental en cada una de estas etapas, así como en la forma de presentar la información en este documento.

En este capítulo, y sobre la base de esta evaluación, se presentan las técnicas y, en la medida de lo posible, los niveles de consumo y emisión asociados con el empleo de las MTD, que se consideran apropiados para todo el sector; en muchos casos, reflejan el comportamiento actual de algunas instalaciones de este sector. Cuando se presentan niveles de consumo o de emisión «asociados con las mejores técnicas disponibles», se sobreentiende que dichos niveles representan el comportamiento medioambiental que se puede prever como resultado de la aplicación, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el equilibrio de costes y beneficios inherentes a la definición de MTD. No son en ningún caso valores límite de emisión ni de consumo, ni deben entenderse como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible conseguir mejores niveles de consumo o de emisión pero, debido a cuestiones de coste o a consideraciones cruzadas, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su conjunto. Sin embargo, podrían justificarse en casos más específicos movidos por aspectos impulsores especiales.

Los niveles de consumo y emisión asociados con el empleo de las MTD deben considerarse conjuntamente con cualquier condición de referencia especificada (por ejemplo, períodos estadísticos).

Conviene realizar una clara distinción entre el concepto «niveles asociados con las MTD» descrito anteriormente y el término «nivel posible» empleado en otras partes de este documento. Cuando se describe un nivel como «posible» empleando una técnica o combinación de técnicas particulares, quiere decir que, mediante dichas técnicas, se podrá alcanzar el nivel al cabo de un período de tiempo considerable, siempre y cuando la instalación o el proceso presenten un mantenimiento y un funcionamiento correctos.

Siempre que estén disponibles, los datos relativos a los costes se acompañan de la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Estos datos permiten hacerse una idea aproximada de la magnitud de los costes relacionados. Sin embargo, el coste real de la aplicación de una técnica dependerá sobre todo de la situación específica en relación con, por ejemplo, los impuestos, las tasas y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar a fondo dichos factores específicos de emplazamiento en este documento. En ausencia de datos relativos a los costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de las observaciones realizadas en instalaciones ya existentes.

Lo que se pretende con las MTD generales de este capítulo es que sirvan de punto de referencia a la hora de analizar el rendimiento actual de una instalación ya existente, o valorar la propuesta de una instalación nueva. De este modo, ayudarán en la determinación de las condiciones de autorización basadas en las MTD o en el establecimiento de reglas generales según el Artículo 9(8). Está previsto que las nuevas instalaciones puedan diseñarse de modo que rindan a unos niveles generales de MTD iguales o superiores a los aquí presentados. Se considera también que las instalaciones ya existentes podrían alcanzar o mejorar los niveles generales de MTD, ateniéndose a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Si bien los documentos de referencia sobre las MTD no establecen estándares legales, su objetivo es el de aportar información para orientar a la industria, a los Estados miembros y al público en general en referencia a los niveles de consumo y emisión posibles mediante el uso de las técnicas especificadas. Los valores límite adecuados para cualquier caso específico deberán determinarse teniendo en cuenta los objetivos de la Directiva IPPC y las consideraciones locales.

RECOMENDACIONES PARA AYUDAR A LOS USUARIOS/LECTORES DE ESTE DOCUMENTO

Las siguientes cuestiones se consideran importantes para los lectores de este documento:

- Se recomienda leer el Capítulo 5 en combinación con el Capítulo 4. Para ayudar al lector a este respecto, en el Capítulo 4 se incluyen referencias al Capítulo 5.
- Además de las MTD recogidas en este capítulo, las MTD para una instalación de SIC también contienen elementos de otros documentos de IPPC. En este contexto se presta especial atención a los siguientes documentos de referencia sobre las MTD:
 - Emisiones generadas por el almacenamiento (BREF ESB, [8, European IPPC Bureau, 2003]).
 - Sistemas de refrigeración industrial (BREF CV, [31, European IPPC Bureau, 2000]).
 - Sistemas de tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico (BREF CWW, [21, European IPPC Bureau, 2003]).
 - Incineración de residuos (BREF WI, [34, European IPPC Bureau, 2004]).
 - Tratamiento de residuos (BREF WT, [35, European IPPC Bureau, 2004]).
 - Principios generales de monitorización (BREF MON, [36, European IPPC Bureau, 2003]).

Respecto al BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003], merece la pena señalar lo siguiente:

- Este documento de SIC permite un estudio más a fondo de la aplicación de algunas técnicas beneficiosas para el medio ambiente que se señalan en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003] para la producción de SIC.
- A fin de limitar la necesidad de que el lector consulte BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003], Capítulo 4 de este documento presenta brevemente las técnicas que se describen con más detalle en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003]. También ofrece la ventaja de incluir datos operativos derivados del sector las SIC (y que son específicos de él) para cada técnica que se tiene en cuenta.

En este documento, las conclusiones sobre las MTD por lo que respecta al sector de las SIC se establecen en dos niveles. El Capítulo 5 presenta las conclusiones sobre las MTD genéricas, es decir, las que se aplican en general al todo el sector. Si hay excepciones cuando las MTD no son aplicables en determinadas circunstancias o casos, en las conclusiones sobre las MTD se menciona esta cuestión. Las secciones 6.X.5 (es decir las secciones 6.1.5, 6.2.5, 6.3.5, 6.4.5, 6.5.5) contienen conclusiones sobre las MTD más específicas, es decir, las de las familias de sustancias SIC que se analizan.

SUMINISTRO, ALMACENAMIENTO, MANIPULACIÓN Y PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y AUXILIARES

Constituye una MTD:

- 5.1 reducir la cantidad de materiales de envasado eliminados mediante, por ejemplo, el reciclado de materiales de envasado utilizados «duros» y « blandos» (véanse las Secciones 4.2.1 y 4.2.2), salvo impedimento por consideraciones de seguridad o de peligro.

SÍNTESIS/REACCIÓN/CALCINACIÓN

Constituye una MTD:

- 5.2 reducir las emisiones y la cantidad de residuos generados mediante la aplicación de una o varias de las siguientes medidas:
- uso de materias primas de elevada pureza (véase la Sección 4.3.1).
 - mejora de la eficacia del reactor (véase la Sección 4.3.2).
 - mejora de los sistemas de catálisis (véase la Sección 4.3.3).

Para los procesos discontinuos, una MTD constituye:

- 5.3 constituye optimizar los rendimientos, disminuir las emisiones mediante la secuenciación de la adición de reactivos (véase la Sección 4.3.4).

Para los procesos discontinuos, una MTD constituye:

- 5.4 minimizar las operaciones de limpieza mediante la optimización de las secuencias de adición de materias primas y auxiliares (véase la Sección 4.3.4).

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LOS PRODUCTOS

Constituye una MTD:

- 5.5 reducir la cantidad de residuos generados, por ejemplo utilizando contenedores o bidones retornables para el transporte de los productos (véase la Sección 4.2.1).

REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES RESIDUALES

Constituye una MTD:

- 5.6 minimizar las emisiones del polvo en los gases residuales y conseguir niveles de emisión de 1 a 10 mg/Nm³ mediante el uso de una o varias de las siguientes técnicas:
- ciclón (véase la Sección 4.4.2.1.2).
 - filtro de tela o cerámico (véase la Sección 4.4.2.1.5).

- c. lavador húmedo de polvo (véase la Sección 4.4.2.1.3).
- d. ESP (véase la Sección 4.4.2.1.4).

La parte baja de la gama puede alcanzarse utilizando filtros de tela en combinación con otras técnicas de reducción. Sin embargo, la gama puede ser más elevada, según las características del gas portador y de las partículas (véase la Sección 4.4.2.1). No siempre es posible utilizar filtros de tela como, por ejemplo, cuando hay que reducir la presencia de otros contaminantes (por ejemplo, SO_x) o cuando los gases residuales están húmedos (por ejemplo, presencia de ácido líquido).

En la medida de lo posible, las partículas recuperadas o eliminadas se vuelven a reciclar en la producción. El medio de lavado se recicla siempre que sea posible.

Constituye una MTD:

- 5.7 reducir las emisiones de HCN y conseguir niveles de emisión de $<1 \text{ mg/m}^3$ mediante el lavado con una solución alcalina. El medio de lavado se recicla siempre que sea posible (véase la Sección 4.4.2.2.5).

Constituye una MTD:

- 5.8 reducir las emisiones de NH_3 y conseguir niveles de emisión de $<1,2 \text{ mg/m}^3$ mediante lavado con una solución ácida. El medio de lavado se recicla siempre que sea posible (véase la Sección 4.4.2.2.5).

Constituye una MTD:

- 5.9 reducir las emisiones de HCl, por ejemplo, mediante lavado de gases húmedo en condiciones alcalinas (véase la Sección 4.4.2.2.4). Si el principal contaminante para tratar es HCl y se utiliza el lavado alcalino, una MTD es conseguir $3 - 10 \text{ mg/Nm}^3$ de HCl.

GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y REDUCCIÓN DE LOS VERTIDOS AL AGUA

El tratamiento de las aguas residuales en el sector de las SIC sigue, al menos, tres estrategias diferentes:

- pretratamiento dentro de la instalación de SIC y uno o varios tratamientos finales en una depuradora central dentro de un emplazamiento más amplio en el que se encuentra la instalación de SIC;
- pretratamiento y uno o varios tratamientos finales en una depuradora dentro de la instalación de SIC;
- pretratamiento dentro de la instalación de SIC y uno o varios tratamientos finales en una depuradora municipal.

En este documento no se concede preferencia a ninguna de estas estrategias. Las tres estrategias se consideran MTD cuando se aplican de forma adecuada a la situación real de las aguas residuales, siempre que se cumpla el artículo 2(6) en relación con los vertidos indirectos al agua.

El enfoque sigue un procedimiento de decisión con el fin de adoptar conclusiones de MTD para el tratamiento adecuado de las aguas residuales para una instalación química, tal y como se ilustra en la Figura 4.1.

No se han extraído conclusiones sobre MTD genéricas aplicables a la reducción de la presencia de metales pesados en las aguas residuales. Sin embargo, sí se han deducido conclusiones sobre MTD específicas en relación con la reducción de la presencia de metales pesados de aguas residuales de tres de las cinco familias representativas de las sustancias SIC estudiadas en el documento: para especialidades de pigmentos inorgánicos especiales (véanse la Sección 6.1.5, MTD 6.1.11 y MTD 6.1.12), para siliconas (véanse la Sección 6.3.5 y MTD 6.3.14) y para explosivos inorgánicos (véanse la Sección 6.4.5 y MTD 6.4.7). Para obtener información sobre la reducción de los metales pesados en la producción de sustancias no incluidas en las familias representativas de este documento, se recomienda consultar BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Como medida general, constituye una MTD:

- 5.10 clasificar los flujos de aguas residuales contaminadas en función de su carga de contaminantes. Las aguas residuales inorgánicas, sin componentes orgánicos importantes, se separan de las aguas residuales orgánicas y se llevan a depuradoras especiales (véase la Sección 4.4.1 y la Figura 4.1).

En el caso del agua de lluvia, constituye una MTD:

- 5.11 minimizar la contaminación en los cursos de agua receptores mediante la aplicación de todas las medidas siguientes:
- a. minimizar la contaminación del agua de lluvia por las actividades llevadas a cabo en la instalación, en concreto, por la aplicación de medidas para reducir las emisiones fugitivas y difusas (véanse las MTD 5.12, MTD 5.13 y MTD 5.17).
 - b. canalización y almacenamiento del agua de lluvia (véase la Sección 4.7.4) que se espera que se contamine por las actividades efectuadas en la instalación y, si es necesario, su tratamiento. El resto del agua de lluvia se puede descargar directamente (véase la Sección 4.7.4).
 - c. monitorización de la descarga de esta agua de lluvia tal y como se describe en la Sección 4.7.4. El agua de lluvia que se vaya a contaminar se trata como en el apartado b. anterior (véase la Sección 4.7.4).

En algunos casos, el uso del agua de lluvia como agua de proceso para reducir el consumo de agua dulce puede resultar beneficioso para el medio ambiente.

INFRAESTRUCTURA

Para las emisiones difusas, una MTD constituye:

- 5.12 minimizar las emisiones difusas de polvo donde se pueda producir (en concreto, por el almacenamiento y tratamiento de materiales/productos), mediante la aplicación de una o varias de las siguientes técnicas:
- almacenamiento de materiales en sistemas cerrados (por ejemplo, silos; véase la Sección 6.3.4.1);
 - uso de áreas cubiertas protegidas de la lluvia y el viento (véase la Sección 6.3.4.1);
 - equipos de producción, por ejemplo transportadores, cubiertos total o parcialmente (véase la Sección 2.2);
 - equipos diseñados con campanas y conductos para capturar las emisiones difusas de polvo (por ejemplo, durante la carga en el lugar de almacenamiento) y reducirlo (por ejemplo, mediante el uso de un filtro de tela; véase la Sección 6.3.4.1);
 - realización periódica de operaciones de limpieza, por ejemplo mediante aspiración (véase la Sección 4.7.6).
- 5.13 minimizar las emisiones gaseosas y líquidas fugitivas mediante la aplicación (según las sustancias que puedan requerir control) de una o varias de las siguientes técnicas:
- disposición de programas de detección y reparación periódicas de fugas (véanse las Secciones 4.7.1 y 2.6.6);
 - funcionamiento del equipo a presión ligeramente por debajo de la atmosférica (véase la Sección 6.3.4.16);
 - sustitución de las conexiones con bridas mediante conexiones soldadas (véase la Sección 2.6);
 - utilización de bombas sin juntas y válvulas de fuelle (véase la Sección 2.6);
 - uso de sistemas de juntas de elevadas prestaciones (por ejemplo, juntas y bridas efectivas, válvulas y bombas con empaquetadura de alta integridad, véase la Sección 2.6);
 - realización periódica de operaciones de limpieza (véase la Sección 4.7.6).

En el caso de instalaciones nuevas, constituye una MTD:

- 5.14 usar un sistema de control computerizado para el funcionamiento de la planta (véase la Sección 4.5.2). Sin embargo, esto no es aplicable cuando por cuestiones de seguridad no se permite el funcionamiento automático (por ejemplo, en la producción de SIC explosivas).

En el caso de instalaciones en que pueden formarse compuestos peligrosos sólidos en las tuberías, máquinas y recipientes, constituye una MTD:

- 5.15 disponer de un sistema cerrado de lavado y aclarado (véase la Sección 4.5.1).

ENERGÍA

Constituye una MTD:

- 5.16 reducir el consumo de energía mediante la optimización del diseño, la construcción y el funcionamiento de la instalación, por ejemplo, mediante el uso de la tecnología de mínimos (pinch), salvo que sea imposible por cuestiones de seguridad (véase la Sección 4.6.1).

TÉCNICAS TRANSFRONTERIZAS

Constituye una MTD:

- 5.17 minimizar la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas mediante el diseño, la construcción, la utilización y el mantenimiento de las instalaciones, donde se tratan las sustancias (normalmente líquidos) que representan un riesgo posible de la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, de forma tal que se minimizan los escapes de material (véase la Sección 4.7.1). Se incluye todo lo siguiente:

- a. Disponer de instalaciones estancas, estables y suficientemente resistentes frente a posibles tensiones mecánicas, térmicas o químicas. Esto resulta muy importante para sustancias de gran toxicidad, por ejemplo, cianuros o compuestos de fósforo.
- b. Proporcionar suficientes volúmenes de retención para contener de forma segura los derrames y las fugas de sustancias con el fin de permitir su tratamiento o eliminación.
- c. Proporcionar suficiente volumen de retención para contener de forma segura el agua de extinción de incendios y las aguas superficiales contaminadas.
- d. Efectuar las operaciones de carga y descarga sólo en las áreas designadas que están protegidas contra fugas.
- e. Almacenar y recoger materiales a la espera de su eliminación en las áreas designadas, que están protegidas contra fugas.
- f. Equipar todos los sumideros de bomba u otras cámaras de la planta de tratamiento donde se pueden producir derrames con alarmas de elevado nivel de líquido o dedicar personal a inspeccionar los sumideros de bomba.
- g. Establecer programas para probar e inspeccionar los depósitos y las tuberías, incluidas las bridas y las válvulas.
- h. Proporcionar equipos de control de derrames, como barreras de contención y material absorbente adecuado.
- i. Probar y demostrar la integridad de los diques.
- j. Equipar los depósitos con prevención de sobrelLENADO.
- k. Almacenar los materiales y los productos en áreas cubiertas a salvo del agua de lluvia.

Constituye una MTD:

- 5.18 tener un elevado nivel de educación y formación continua del personal (véase la Sección 4.7.2). Se incluye todo lo siguiente:
- Tener personal con educación básica sólida en ingeniería y operaciones químicas.
 - Formación continua del personal de planta en los trabajos.
 - Evaluación y registro periódicos del rendimiento del personal.
 - Formación periódica del personal sobre cómo responder a las situaciones de emergencia, sobre salud y seguridad en el trabajo y sobre las normativas de seguridad de transporte.

Constituye una MTD:

- 5.19 Aplicar, si están disponibles, los principios de un código industrial (véase la Sección 4.7.3). Se incluye todo lo siguiente:
- Aplicación de normas muy estrictas en los aspectos de seguridad, medio ambiente y calidad en la producción de las sustancias SIC.
 - Realización de actividades como auditoría, certificación y formación del personal de planta (relacionado con los números de MTD 5.18 y 5.22).

Constituye una MTD:

- 5.20 Efectuar una evaluación estructurada de la seguridad en régimen de funcionamiento normal y tener en cuenta los efectos debidos a desviaciones del proceso químico y a desviaciones del funcionamiento de la instalación (véase la Sección 4.7.5).

Para garantizar que un proceso se puede controlar de forma adecuada, constituye una MTD:

- 5.21 Aplicar una técnica individual o una combinación de las siguientes técnicas (sin clasificarlas, véase la Sección 4.7.5):
- medidas de organización;
 - conceptos que implican técnicas de ingeniería de control;
 - sistemas para detener las reacciones (por ejemplo, neutralización o enfriamiento atemperado);
 - refrigeración de emergencia;
 - construcción resistente a la presión;
 - alivio de presión.

Son diversas las técnicas de gestión medioambiental que quedan determinadas como MTD. El alcance (por ejemplo, el nivel de detalle) y la naturaleza de las MTD (por ejemplo, estandarizadas o no estandarizadas) estarán relacionados, por norma general, con la naturaleza, la escala y la complejidad de la instalación, y con la gama de impactos medioambientales que pueda tener. Constituye una MTD:

- 5.22 aplicar y respetar un sistema de gestión medioambiental que incorpore, en función de las circunstancias concretas, las características siguientes (véase la Sección 4.7.6):
- a. Definición de una política medioambiental para la instalación por parte de los altos directivos (la responsabilidad de los altos directivos se considera condición indispensable para la aplicación satisfactoria de otras características del sistema de gestión medioambiental).
 - b. Planificación y determinación de los procedimientos necesarios.
 - c. Aplicación de los procedimientos, prestando atención especial a:
 - La estructura y la responsabilidad.
 - La formación, la conciencia y la competencia.
 - La comunicación.
 - La implicación de los empleados.
 - La documentación.
 - Un proceso de control eficiente.
 - Los programas de mantenimiento.
 - La preparación y la respuesta ante emergencias.
 - La protección conforme a la legislación medioambiental.
 - d. Control del rendimiento y adopción de medidas correctivas, prestando especial atención a:
 - Monitorización y mediciones (véase también el documento de referencia sobre los principios generales de monitorización).
 - Acción correctiva y preventiva.
 - Mantenimiento de registros.
 - Auditoría interna independiente (cuando sea posible) para determinar si el sistema de gestión medioambiental se ajusta a los planes y se ha implementado y se mantiene como es debido.
 - e. Supervisión por parte de la alta dirección.

Hay tres características adicionales, complementarias de las anteriores, consideradas como medidas de apoyo. Sin embargo, por regla general su ausencia no se contradice con las MTD. Las tres etapas adicionales son:

- f. Revisión y validación del sistema de gestión y la auditoría por parte de un organismo con certificación acreditada o de un verificador externo de sistemas de gestión medioambiental.
- g. Preparación y publicación (y, posiblemente, validación externa) de una declaración medioambiental que describa todos los aspectos medioambientales importantes de la instalación, que permita compararla cada año con los objetivos medioambientales, así como con los referentes del sector cuando sea apropiado.
- h. Aplicación y cumplimiento de un sistema voluntario internacionalmente aceptado, como son el EMAS y la EN ISO 14001:1996. Esta etapa voluntaria dota de mayor credibilidad al sistema de gestión medioambiental. Sobre todo el EMAS, que abarca todas las características anteriormente citadas, aporta mayor credibilidad. No obstante, los

sistemas no estandarizados pueden ser, en principio, igualmente efectivos, siempre y cuando el diseño y la implementación sean los adecuados.

También es importante tener en cuenta, especialmente en el sector de las SIC, las siguientes posibles características de los sistemas de gestión medioambiental:

- i. El impacto medioambiental del posible desmantelamiento de la unidad en la etapa de diseño de una planta nueva.
- j. El desarrollo de tecnologías más limpias.
- k. Cuando sea posible, la aplicación periódica de indicadores sectoriales, incluidos la eficiencia energética y las actividades de conservación de energía, la elección de materiales de entrada, las emisiones a la atmósfera, los vertidos en el agua, el consumo de agua y la generación de residuos.

6. Familias representativas de especialidades químicas inorgánicas

6.1. Pigmentos inorgánicos especiales

Con la notable excepción del dióxido de titanio (TiO_2) y del negro de carbono, los pigmentos inorgánicos producidos industrialmente mediante procesos químicos (que son la mayoría de los pigmentos inorgánicos utilizados) se consideran *especialidades químicas* de acuerdo con la definición adoptada para la finalidad del trabajo BREF SIC. El dióxido de titanio (un pigmento blanco que es el pigmento inorgánico de mayor producción en todo el mundo) y el negro de carbono se consideran sustancias químicas de gran volumen y, por lo tanto, se tratan en el BREF LVIC-S [24, European IPPC Bureau, 2004].

En consecuencia, los términos «pigmentos inorgánicos» y «pigmentos inorgánicos especiales» se utilizan indistintamente en esta sección y hacen referencia a los pigmentos inorgánicos producidos industrialmente mediante procesos químicos, excluyendo el dióxido de titanio y el negro de carbono.

La producción industrial de pigmentos y colorantes orgánicos mediante procesos químicos (los pigmentos son agentes de coloración prácticamente insolubles en un medio de aplicación, frente a los colorantes que son agentes de coloración solubles en un medio de aplicación) se trata en el documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles para los sectores de fabricación de especialidades químicas finas orgánicas [18, European IPPC Bureau, 2004].

Dado que la información incluida en este documento se centra en los pigmentos inorgánicos, producidos industrialmente mediante procesos químicos, la producción de pigmentos naturales (extraídos) (por ejemplo, los pigmentos de óxido de hierro tales como goetita y hematita) no se aborda en este documento.

6.1.1. Información general

[10, ANFFECC/CERAMICOLOR/EPSOM/VdMi, 1998] [17, Rudolph and Köppke, 2003]

Los pigmentos inorgánicos son colorantes sólidos de partículas finas no solubles, cuyos efectos ópticos se basan en la absorción selectiva de la luz (en el caso de los pigmentos blancos también no selectiva) y en la difusión de la luz. Son físicamente y químicamente estables y no se ven afectados por el vehículo o el sustrato al que se incorporan.

Los pigmentos inorgánicos se pueden clasificar en distintas categorías según la aplicación que tengan como colorantes:

- **Pigmentos blancos:** por ejemplo, pigmentos de sulfuro de cinc (es decir, sulfuro de cinc puro y litopones, compuesto de una mezcla de sulfato de bario y sulfuro de cinc), sulfato de bario y óxido de cinc.
- **Pigmentos de color:** por ejemplo, óxidos de hierro (rojo, naranja, amarillo y marrón), azul de cobalto, sulfuro de cadmio, amarillo de cromo, pigmentos inorgánicos complejos y pigmentos de vanadato de bismuto.
- **Pigmentos negros:** por ejemplo, óxido de hierro negro y negro de cromo de hierro.

Además de su función para la coloración de los materiales, también se pueden clasificar del siguiente modo:

- **Pigmentos de almacenamiento de datos magnéticos:** por ejemplo, óxidos de hierro (suavizados o no suavizados), óxido de cromo, pigmentos metálicos de hierro y pigmentos de ferrita de bario.
- **Pigmentos anticorrosión:** por ejemplo, pigmentos de fosfato, pigmentos de borato y pigmentos de cromato.
- **Pigmentos contra interferencias:** por ejemplo, en la base de mica y dióxido de titanio.
- **Pigmentos transparentes:** por ejemplo, óxido de hierro y azul de cobalto.
- **Pigmentos fosforescentes:** por ejemplo, sulfuros alcalino-terrosos.
- **Rellenos:** por ejemplo, carbonato cálcico y sílice amorfa sintética.
- Prácticamente todos los pigmentos inorgánicos son óxidos, sulfuros, hidróxidos de óxido, silicatos, sulfatos o carbonatos. Por lo general, constan de partículas con composición química uniforme con la excepción de los pigmentos para efectos y las mezclas de distintos pigmentos.

6.1.1.1. Usos

Los pigmentos se emplean principalmente en pinturas, barnices, plásticos, tintas de impresión para papel, tejidos y cuero, materiales de construcción, cosmética y cerámica.

Las siguientes propiedades son importantes a la hora de determinar el uso de los pigmentos:

- Propiedades físico-químicas generales: estructura química, contenido de humedad, contenido de sales, contenido de sustancias solubles en agua o ácido, distribución por tamaños de partícula, densidad y dureza.
- Resistencia a la luz, el calor, las condiciones meteorológicas y las sustancias químicas (mantenimiento de las propiedades ópticas y anticorrosivas estables).

- Propiedades en la combinación con el sistema de revestimiento (por ejemplo, capacidad de dispersión, compatibilidad con determinados aglutinantes).

La Tabla 6.1 ofrece los campos de aplicación principales para algunos pigmentos inorgánicos en Europa Occidental.

Tabla 6.1. Campos de aplicación principales para algunos pigmentos inorgánicos en Europa Occidental

Campos de aplicación	Óxidos de hierro	Óxidos de cromo	Pigmentos inorgánicos complejos
Pinturas y barnices	29%	50%	30%
Materiales de construcción	60%	25%	5%
Plásticos	6%	10%	45%
Tintas para papel	2%	-	-
Cerámicas y esmaltes	1%	7%	20%
Otros	2%	8%	-

En Europa, los pigmentos inorgánicos se producen en instalaciones ubicadas principalmente en Alemania, Italia y España. También se ha informado de la producción de pigmentos en Francia, Portugal, Reino Unido y Países Bajos.

6.1.1.1.1. *Pigmentos de óxido de hierro*

Los pigmentos de óxido de hierro representan el grupo principal de los pigmentos de color. La producción mundial en 1995 ascendió a 600.000 toneladas de pigmentos sintéticos (pigmentos producidos mediante procesos químicos) y de 110.000 a 120.000 toneladas de pigmentos naturales (extraídos). La importancia creciente de los pigmentos de óxido de hierro se basa en su estabilidad química, su gran variedad tonal (amarillo, naranja, rojo, marrón y negro) y su precio competitivo en comparación con los pigmentos inorgánicos complejos y orgánicos. Los óxidos de hierro constan de sustancias de coloración muy distintas químicamente, como:

- $\alpha\text{-FeOOH}$ (amarillo)
- $\gamma\text{-FeOOH}$ (amarillo-naranja)
- Fe_3O_4 (negro)
- $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (marrón)
- $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (rojo)

La elevada demanda de pigmentos para los sectores de pinturas y materiales de construcción se puede satisfacer prácticamente con los pigmentos de óxido de

hierro sintéticos ya que poseen la pureza química necesaria y se pueden producir en distintos tamaños de partícula, lo que permite la variación en la potencia de ocultación y en los tonos que se pueden obtener. Los pigmentos de óxido de hierro obtienen su potencia de difusión máxima con un tamaño de partícula de unos $0,2\text{ }\mu\text{m}$, siendo inferior la potencia de ocultación tanto para partículas de menor y mayor tamaño. Las partículas más pequeñas que $0,01\text{ }\mu\text{m}$ pierden por completo su capacidad de difusión y se utilizan para colorantes transparentes. Los tonos de los pigmentos de óxido de hierro sintéticos se pueden ajustar mediante la selección de diferentes calidades y tamaños de partícula.

6.1.1.1.2. *Pigmentos inorgánicos complejos*

A los pigmentos inorgánicos complejos, anteriormente denominados «pigmentos de óxido de metal de fase mixta», se les ha cambiado el nombre para expresar el hecho de que estos pigmentos no son una mezcla sino que constan de una retícula de cristal estable de distintos cationes metálicos. Los cationes más importantes son rutilo, espinela, circón y hematita/corindón, pero existen otras estructuras estables.

Los distintos pigmentos inorgánicos complejos se muestran en la Tabla 6.2.

En la fabricación de los pigmentos de rutilo, la retícula de rutilo de dióxido de carbono absorbe óxido de níquel (II), óxido de cromo (III), óxido de manganeso (II) u óxido de vanadio (III) como componentes colorantes y óxido de antimonio (V), óxido de niobio (III) u óxido de tungsteno (III) (u otros modificadores) para mantener una valencia media de cationes de cuatro, similar al titanio. La incorporación de estos óxidos en los pigmentos inorgánicos complejos da como resultado la pérdida de la identidad química y, por lo tanto, de sus propiedades químicas, físicas y fisiológicas originales. Por lo tanto, estos pigmentos de rutilo no se consideran, por ejemplo, compuestos de níquel, cromo o antimonio, sino compuestos de titanio. La mayoría de estos pigmentos de rutilo se definen de forma clara en función de la toxicidad y el comportamiento medioambiental por su propio número CAS y EINECS. Lo mismo se puede decir de los demás sistemas de pigmentos inorgánicos complejos.

La importancia de los pigmentos inorgánicos complejos crece continuamente debido a su estabilidad extremadamente alta y a su resistencia a altas temperaturas.

Tabla 6.2. Ejemplos de pigmentos inorgánicos complejos

Sistema de pigmento inorgánico complejo	Nombre común de pigmento inorgánico complejo	Fórmula de pigmento inorgánico complejo
Pigmentos de rutilo	Cromo-antimonio amarillo	(Ti,Cr,Sb)O ₂
	Níquel-antimonio amarillo	(Ti,Ni,Sb)O ₂
	Manganoso-antimonio marrón	(Ti,Mn,Sb)O ₂
	Cromo-tungsteno marrón	(Ti,Cr,W)O ₂
	Titanio naranja/amarillo	(Ti,Sb)O ₂
	Vanadio-antimonio-vanadio gris	(Ti,V,Sb)O ₂
Pigmentos de espinela	Cobalto-alúmina azul	CoAl ₂ O ₄
	Cobalto-cinc azul	(Co,Zn)Al ₂ O ₄
	Cobalto-cromo verde azulado	Co(Al,Cr) ₂ O ₄
	Cobalto-cromita verde	CoCr ₂ O ₄
	Cinc-hierro marrón	Zn(Fe,Cr) ₂ O ₄
	Hierro-cromo marrón	Fe(Fe,Cr) ₂ O ₄
	Hierro-cromo-manganoso marrón	(Fe,Mn)(Fe,Cr,Mn)O ₄
	Cobre-cromita negro	CuCr ₂ O ₄
	Cromo-cobalto-hierro negro	(Co,Fe)(Fe,Cr) ₂ O ₄
	Cromo-cinc-alúmina rosa	Zn(Al,Cr) ₂ O ₄
	Cobalto-níquel-cinc-titanio verde	(Co,Ni,Zn) ₂ TiO ₄
	Manganoso-hierro negro	(Fe,Mn)(Fe,Mn) ₂ O ₄
	Cromo-hierro-manganoso-cinc marrón	(Zn,Fe,Mn)(Fe,Cr,Mn)O ₄
	Hierro-titánio negro	Fe ₂ TiO ₄
	Cobalto-estaño azul	Co ₂ SnO ₄
	Níquel-hierro marrón	NiFe ₂ O ₄
	Hierro-cobalto negro	(Fe,Co)Fe ₂ O ₄
Pigmentos de circón	Cinc-hierro marrón	(Zn,Fe)Fe ₂ O ₄
	Cromo-hierro-níquel negro	(Ni,Fe)(Cr,Fe) ₂ O ₄
	Cromo-manganoso-cinc marrón	(Zn,Mn)Cr ₂ O ₄
	Cromo-hierro-níquel negro	(Ni,Mn)(Cr,Fe) ₂ O ₄
	Cinc-cromo-cobalto-aluminio azul	(Zn,Co)(Cr,Al) ₂ O ₄
Pigmentos de hematita/corindón	Circonio-vanadio turquesa	(Zr,V)SiO ₄
	Circonio-praseodimio amarillo	(Zr,Pr)SiO ₄
	Circonio-hierro rosa	(Zr,Fe)SiO ₄
	Circonio-silicio gris	(Zr,Fe)SiO ₄
	Manganoso-alúmina rosa	(Mn,Al) ₂ O ₃
Pigmentos de hematita/corindón	Cromo-alúmina rosa	(Cr,Al) ₂ O ₃
	Hierro-cromo negro	(Fe,Cr) ₂ O ₃
	Cromo verde	Cr ₂ O ₃
	Hierro-hematita marrón	(Fe,Cr) ₂ O ₄
	Periclasa	(Co,Ni)O
Casiterita	Fenacita	(Co,Zn) ₂ SiO ₄
	Olivino	Co ₂ SiO ₄
	Baddeleyita	(Zr,V)O ₂
	Estaño-vanadio amarillo	(Sn,V)O ₂
Esfeno	Cromo-estaño orquídea	(Sn,Cr)O ₂
	Estaño-antimonio gris	(Sn,Sb)O ₂
	Cromo-estaño rosa	CaO:SnO ₂ :SiO ₂ :Cr ₂ O ₃
Granate	Verde Victoria	3CaO:Cr ₂ O ₃ :3SiO ₂
Pirocloro	Plomo-antimonio amarillo	Pb ₂ Sb ₂ O ₇

6.1.1.1.3. *Pigmentos de sulfuro de cinc y sulfato de bario precipitado (blanco fijo)*

Los pigmentos de sulfuro de cinc (sulfuro de cinc puro y litopón) son pigmentos con una blancura muy elevada. Son especialidades químicas muy importantes y tienen una mayor aplicación en pinturas y revestimientos, así como en plásticos y fibras sintéticas. El sulfuro de cinc resulta muy adecuado para su incorporación en plásticos reforzados de fibra de vidrio porque es considerablemente menos duro que el dióxido de titanio. Por lo tanto, el sulfuro de cinc no daña las fibras de vidrio sensibles que están incrustadas en el plástico. Los consumidores finales son, por ejemplo, los sectores de la construcción, de la automoción y textil. Los usos de los plásticos de fibra reforzada son, *entre otros*, la construcción de yates de alta tecnología, carrocerías de automóvil de plástico y equipamiento deportivo de estilo atractivo. El litopón es una mezcla de sulfuro de cinc y sulfuro de bario precipitado, que también contiene algo de óxido de cinc.

El **sulfuro de bario precipitado** de alta pureza (también denominado «blanco fijo») se utiliza como aditivo funcional en pinturas y revestimientos, plásticos y papel. En pinturas y revestimientos, mejora la eficacia de los pigmentos de color al actuar como separador entre las partículas de pigmento. Se utiliza, por ejemplo, en revestimientos superiores de alta calidad en el sector de la automoción. En los revestimientos en polvo mejora la reología así como los parámetros de rendimiento mecánico y permite unos valores de satinado óptimos. Los tamaños y geometrías de partícula definidos de forma precisa son el motivo de muchos usos especializados del blanco fijo en las aplicaciones de plásticos. Por ejemplo, en el moldeado de inyección, los pigmentos de blanco fijo facilitan la eliminación del componente de plástico del molde a la vez que se mejora simultáneamente la resistencia del material. En las láminas de plástico translúcidas, las calidades especiales de blanco fijo garantizan la difusión sistemática de la luz. Empleado en la producción de papel, el blanco fijo tiene un efecto beneficioso en el brillo y la fotoestabilidad, lo que conlleva un rendimiento de impresión mejorado. Como agente de contraste en medicina, el sulfato de bario de alta pureza se utiliza en las exploraciones de rayos X del tracto gastrointestinal.

6.1.1.2. TOXICIDAD

Debido a su baja solubilidad (en agua, así como en ácidos y alcalinos), la biodisponibilidad y la toxicidad de los pigmentos inorgánicos son muy bajas.

La mayoría de los pigmentos inorgánicos son partículas finas respirables y contienen metales pesados, por lo que se deben adoptar medidas para proteger la salud de los trabajadores en el lugar de producción.

Aunque algunas de las materias primas que se emplean para la fabricación de los pigmentos inorgánicos complejos están clasificadas como peligrosas, durante el proceso de calcinación a altas temperaturas (alrededor de 1.200 °C) se produce una reacción que forma una nueva sustancia con una solubilidad extremadamente baja en agua así como en ácidos y bases, con propiedades físicas, químicas y toxicológicas que son muy distintas de las propiedades presentadas por las materias primas de origen. Los elementos químicos se han fijado dentro de una estructura cristalina muy estable. Por lo tanto, para la mayoría de los pigmentos inorgánicos complejos, la calcinación a altas temperaturas actúa como un proceso de inertización donde el producto final obtenido no representa ningún daño.

6.1.1.3. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE PIGMENTOS INORGÁNICOS ESPECIALES EN EUROPA Y EN EL MUNDO

El tremendo aumento de los productos de color fabricados ha llevado el aumento considerable de la demanda de los colorantes en las últimas décadas. Como los pigmentos naturales (extraídos) no han podido satisfacer esta necesidad, la producción de pigmentos inorgánicos ha aumentado continuamente.

La producción mundial de 1995 de pigmentos inorgánicos (incluido TiO₂ y negro de carbono) alcanzó una cantidad de cinco millones de toneladas para coloración. Los productores principales son EE.UU. y Europa Occidental (cada uno representa el 30% de la producción mundial).

En la Tabla 6.3 se indica la producción mundial estimada de pigmentos inorgánicos en 1995 (algunos de los volúmenes indicados pueden variar según la fuente de información).

Tabla 6.3. Producción mundial estimada de pigmentos inorgánicos en 1995

Pigmentos inorgánicos	Producción en kilotoneladas/año	Cuota de mercado en %
Dióxido de titanio	3.170	66
Óxidos de hierro (naturales y sintéticos)	720	15
Negro de carbono	530	11
Litopón y sulfuro de cinc	190	4
Cromato	145	3
Óxido de cromo (III)	48	1
Óxido de cinc	<48	<1
Molibdato	<48	<1
Pigmentos de brillo	<48	<1
Pigmentos inorgánicos complejos	<48	<1
Azul de hierro	<24	<0,5
Ultramar	<24	<0,5

El mayor fabricante de pigmentos de óxido de hierro sintético en todo el mundo se encuentra en Alemania, con una producción anual de 300.000 toneladas.

En 2002, el consumo anual mundial de pigmentos de rutilo ascendió a 30.000 toneladas. El consumo anual mundial de pigmentos de espinela y circón fue de 20.000 toneladas. El consumo de los pigmentos inorgánicos complejos de hematita/corindón se estimó en 15.000 toneladas.

En 2002, la producción mundial de sulfuro de bario precipitado fue de 150.000 toneladas, de las cuales 110.000 toneladas se produjeron en Europa.

El productor mundial exclusivo de pigmentos de sulfuro de cinc se encuentra en Duisburgo, Alemania.

En la planta de Duisburgo está la producción integrada de sulfuro de cinc, sulfato de bario y litopón con una capacidad de 20.000 toneladas de sulfuro de cinc y 75.000 toneladas de sulfato de bario y litopón (compuesto de una mezcla de sulfato de bario y sulfuro de cinc). A medida que la producción de litopón se fue trasladando a China (excepto para la producción de especialidades), la planta de Duisburgo se centró en la producción de pigmentos de sulfuro de cinc y sulfato de bario.

Se debe tener en cuenta que la producción de pigmentos de cadmio se ha reducido considerablemente a lo largo de los años, en parte debido a la legislación europea que fomenta la sustitución. No hay producción de estos pigmentos en Alemania, aunque se ha informado de la producción en Francia y Reino Unido.

En Europa, una instalación de pigmentos inorgánicos especiales produce desde unas pocas toneladas hasta 100.000 toneladas de pigmentos al año.

6.1.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA EUROPEA DE PIGMENTOS INORGÁNICOS ESPECIALES

En Europa, las empresas grandes (más de 250 empleados), las medianas (entre 50 y 249 empleados) y las pequeñas (menos de 50 empleados) fabrican pigmentos inorgánicos especiales. En estas empresas, los empleados de una instalación de producción de pigmentos son, por lo general, menos de 50. La producción se lleva a cabo en instalaciones pequeñas y grandes con un modo de funcionamiento continuo o por lotes. La producción tiene lugar en instalaciones independientes o en instalaciones que forman parte de un complejo industrial mayor.

6.1.1.5. ECONOMÍA

El sector de los pigmentos inorgánicos especiales es un sector maduro. La mayoría de los procesos se han desarrollado y adaptado en los últimos 200 años. La

competencia cada vez mayor desde fuera de la UE dificulta la expansión de este sector en la UE. El sulfuro de cinc, el sulfato de bario y la mayoría de los pigmentos de litopón ya se producen fuera de la UE.

6.1.2. Procesos y técnicas aplicados

Debido a la gran variedad de productos de pigmentos inorgánicos, los procesos de producción se han desarrollado, en muchos casos, de forma individual empleando los procedimientos específicos de cada empresa. Naturalmente, estos procedimientos son confidenciales y aquí no se aporta información detallada (por ejemplo, en relación con las condiciones de proceso, materias primas y aditivos). No obstante, en esta Sección se describen los principios de fabricación generales y las técnicas empleadas para la producción de pigmentos inorgánicos.

Aunque se han desarrollado muchos procesos de producción para fabricar la amplísima variedad de pigmentos inorgánicos, la producción puede desglosarse en estas dos actividades principales:

- Síntesis de los pigmentos
- Procesamiento de los pigmentos

La Figura 6.1 muestra las etapas principales en la síntesis y procesamiento de pigmentos inorgánicos.

6.1.2.1. SÍNTESIS DE LOS PIGMENTOS

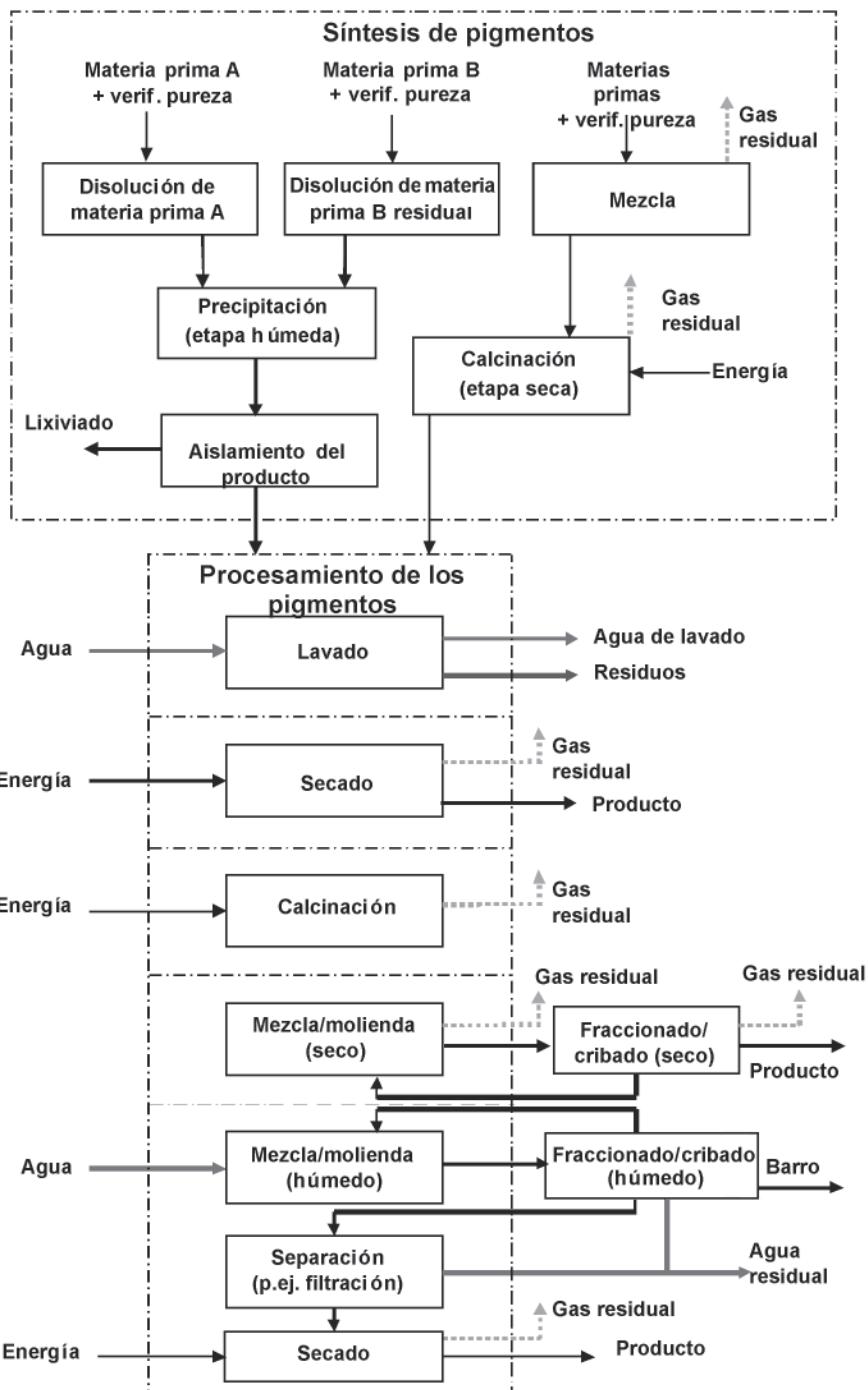
Existen dos vías posibles para la síntesis de pigmentos:

- Proceso químico por vía húmeda
- Proceso de calcinación por vía seca

6.1.2.1.1. *Proceso químico por vía húmeda*

El proceso químico por vía húmeda se basa en una reacción de precipitación de las sustancias de materia prima disueltas seguida del aislamiento del producto. Después de una etapa de purificación, necesaria en algunos casos (por ejemplo, para la producción de pigmentos de sulfuro de cinc), las materias primas se disuelven individualmente en soluciones acuosas, ácidas, alcalinas o salinas. A continuación, las soluciones se mezclan y se vierten en un depósito de precipitación para la reacción. La solubilidad del producto de reacción es mucho menor que la de las materias primas. Tras la etapa de reacción, el producto se deshidrata en filtros prensa de cámara. La etapa de deshidratación produce un lixiviado que contiene algunos residuos de las materias primas iniciales, subproductos de la

Figura 6.1. Síntesis y procesamiento de pigmentos



reacción (principalmente sales) y, en algunos casos, también una parte disuelta del producto de pigmento deseado.

El proceso químico por vía húmeda se utiliza cuando las materias primas son solubles, que es el caso de los sulfatos metálicos, los cloruros o los hidróxidos. En cambio, en el caso de los óxidos, ligeramente solubles o insolubles, se utiliza el proceso de calcinación por vía seca.

En la mayoría de las tecnologías de disolución o precipitación de (pre)pigmentos se requiere una determinada acidez/acididad de la solución (gama de pH óptima). Por lo tanto, el valor de pH de las aguas residuales derivadas de la producción de pigmentos inorgánicos empleando un proceso químico por vía húmeda puede tener importancia desde el punto de vista medioambiental.

6.1.2.1.2. Proceso de calcinación por vía seca

La calcinación se puede dividir en **descomposición/conversión térmica y reacción a alta temperatura**.

En la descomposición/conversión térmica, la materia prima se descompone a alta temperatura (aproximadamente entre 150 y 1.300 °C). Este es el caso de la oxidación de sulfato de hierro con oxígeno para formar Fe_2O_3 y SO_3 . Este proceso requiere la monitorización estricta de la curva de temperatura/tiempo de la reacción.

En la reacción a alta temperatura, las materias primas reaccionan entre sí en una reacción denominada de fase sólida, que conduce a la formación de los pigmentos deseados. La reacción se produce a temperaturas entre 500 y 1.400 °C, por debajo de las temperaturas de fusión individuales de las materias primas. Las materias primas utilizadas son esencialmente óxidos de metal, hidróxidos o carbonatos y, de forma excepcional, otros compuestos metálicos. En algunos casos se utilizan mineralizadores (como sulfatos, cloruros o fluoruros) en pequeñas cantidades, que son fuentes de emisiones de dichas sustancias a la atmósfera.

Los productos de reacción gaseosa salen de la cámara de reacción a través del mismo punto de emisión (no necesariamente al mismo tiempo) como el gas residual de los procesos de descomposición/conversión térmica y reacción a alta temperatura.

6.1.2.1.3. Impacto medioambiental de la síntesis de los pigmentos

El proceso químico por vía húmeda y el proceso de calcinación por vía seca tienen distintos impactos medioambientales.

El proceso químico por vía húmeda requiere gran cantidad de agua y produce grandes cantidades de aguas residuales; por su parte, el proceso de calcinación por vía seca exige menos agua pero más energía. En el proceso químico por vía húmeda, se puede obtener una reducción de las emisiones principalmente mediante métodos adecuados para el tratamiento de aguas residuales, mientras que en la calcinación por vía seca las medidas medioambientales se concentran en la reducción de las emisiones de gases residuales y el uso de energía. En contadas ocasiones se puede utilizar cualquiera de las vías para fabricar el producto de pigmento deseado. Las especificaciones de calidad de producto suelen imponer la vía de producción que se utilizará.

6.1.2.2. ELABORACIÓN DE PIGMENTOS

En la elaboración de pigmentos se pueden encontrar las siguientes etapas de proceso:

- **Lavado** de producto para eliminar subproductos solubles (por ejemplo, sales)
- **Secado** (después de las etapas de proceso por vía húmeda).
- **Calcinación** para la reestructuración de las partículas de pigmento.
- **Mezcla/molienda** para adaptar el tamaño de partícula (la molienda se puede llevar a cabo mediante procesos por vía húmeda o por vía seca) seguida de **filtración/cribado** y **secado** en el caso de la molienda por vía húmeda.

Todas estas etapas no se aplican necesariamente para producir cada tipo de pigmento; la opción de aplicar todas o algunas de estas etapas depende de las siguientes condiciones:

- La calidad requerida del producto final.
- Las materias primas utilizadas.
- El proceso de síntesis de los pigmentos utilizados (proceso químico por vía húmeda o calcinación por vía seca).

Independientemente del proceso empleado para la síntesis de los pigmentos, en algunos casos los pigmentos requieren una etapa de lavado para eliminar las sales solubles. La etapa de lavado genera aguas residuales con elevadas cargas de sales. Después del lavado, los pigmentos se tienen que secar térmicamente. El secado provoca gases residuales y residuos condensados. Debido a que, en la salida del secadero, las partículas de pigmento muy finas se funden en unidades mayores (denominadas agregados que, al enfriarse, floculan para formar aglomerados), el producto se debe moler después de la etapa de secado con el fin de obtener un tamaño de partículas tan fino como sea necesario. La molienda por vía seca puede provocar emisiones de polvo.

Las etapas de producción de lavado, secado y molienda se llevan a cabo para la producción de pigmentos como el amarillo de cromo, el naranja de molibdato, el

azul de hierro, el amarillo de cadmio, el vanadato de cromo y el cromado de plomo, así como de pigmentos anticorrosivos, como el cromado de potasio de cinc, el cromado de cinc o estroncio, el cinc y el fosfato de cromo.

Para la producción de algunos pigmentos (por ejemplo, pigmentos de cadmio), se requiere una etapa de calcinación adicional para reestructurar las partículas de pigmento.

6.1.2.3. MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES

No existe necesidad de analizar en detalle los procesos de fabricación de los pigmentos dado que la clasificación sistemática de los posibles procesos descritos anteriormente ya revela los principios básicos del tratamiento de gases y aguas residuales en la producción de pigmentos inorgánicos.

6.1.2.3.1. *Principio de tratamiento del gas residual*

Las fuentes principales de las emisiones gaseosas son hornos (rotatorios, cámara y túnel), así como secaderos y molinos (en la molienda por vía seca de los pigmentos). La selección de un determinado tratamiento de gases residuales depende de los constituyentes de los gases residuales.

La Tabla 6.4 ofrece ejemplos de tratamientos de gas residual según los contaminantes que se incluyen en el gas residual.

Tabla 6.4: Tratamientos de gas residual para la producción de pigmentos inorgánicos

Contaminante	Fuente	Producción de pigmentos	Tratamiento del gas residual
Polvo y metales pesados	Horno Molino (por vía seca) Secadero	Pigmentos inorgánicos complejos Pigmentos de óxido de cromo (III) Pigmentos de óxido de hierro Pigmentos de sulfuro de cinc	- ciclón - precipitador electrostático - lavado neutro o alcalino - filtro de tela
SO ₂	Horno	Pigmentos inorgánicos complejos Pigmentos de óxido de cromo (III) Pigmentos de sulfuro de cinc	- oxidación de SO ₂ en SO ₃ y lavado en H ₂ SO ₄ - lavado alcalino
NO _x	Horno	Pigmentos inorgánicos complejos	
Fluorita	Horno	Pigmentos inorgánicos complejos (es decir, pigmentos de circon)	- lavado con cal
Compuestos orgánicos	Reactor	Óxidos de hierro por el proceso Laux	- combustión - condensación (para concentración de COV alta) - oxidación catalítica (para concentración de COV baja)

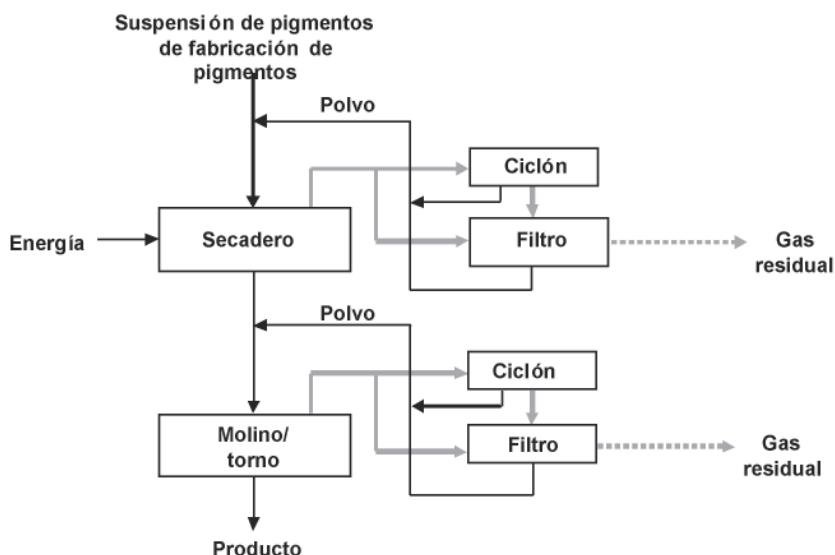
6.1.2.3.1.1. Polvo (*incluido polvo que contiene metales pesados*)

Según la calidad deseada del producto, el tamaño de partícula de pigmento requerido tiene que estar entre 0,01 y 30 μm que, por lo general, provoca polvo que contiene emisiones de metal pesado (la mayoría de los pigmentos producidos contiene metales pesados) de los procesos de producción de pigmentos.

Para reducir las emisiones de polvo totales, los flujos de gases residuales procedentes de los hornos de calcinación se dirigen a un ciclón. En una segunda etapa, los productores de pigmentos principalmente utilizan otros procesos de secado, como los filtros de tela o los precipitadores electrostáticos para reducir más el polvo total (las técnicas de tratamiento elegidas, ya sea filtros de tela o precipitadores electrostáticos, dependen en gran medida de la temperatura de las emisiones gaseosas y del peso de las partículas). Las partículas reducidas se pueden reciclar en el proceso. También se puede utilizar el lavado que, no obstante, provoca efluentes que se deben tratar. Los procesos de lavado sólo se prefieren en los casos donde también se deben eliminar otros contaminantes aparte del polvo.

La calcinación de pigmentos en cacetas cerámicas normalmente genera niveles de polvo muy bajos y no se requiere tratamiento adicional de gases residuales (aparte del ciclón). Esto se debe a que las cacetas están apiladas muy estrechamente entre sí en el horno, lo que deja una cantidad muy pequeña de polvo de pigmento en contacto con la atmósfera del horno. Normalmente se utiliza gas natural como fuente de energía para el horno y el secadero.

Figura 6.2. Tratamiento del gas residual para la reducción del polvo total procedente del gas residual de un secadero y de un torno/molino



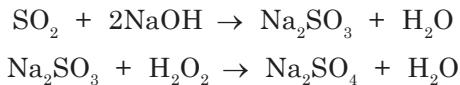
La Figura 6.2 muestra un tratamiento de gases residuales para la reducción del polvo total procedente del gas residual de un secadero y procedente del gas residual de un torno/molino.

6.1.2.3.1.2. Dióxido de azufre (SO_2)

Las emisiones de dióxido de azufre se generan si se añade azufre como agente de reducción al proceso de reacción o como una impureza de materia prima (por ejemplo, en la producción de pigmentos de óxido de cromo (III)). Se ha informado del uso de dos tratamientos de gases residuales distintos en la producción de pigmentos inorgánicos para la eliminación de SO_2 :

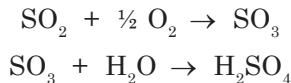
- Lavado alcalino con sosa cáustica

Al efectuar el lavado con sosa cáustica, el SO_2 se convierte en sulfito sódico. En algunos casos, se puede añadir peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al efluente, con el fin de acelerar la generación de sulfato sódico:



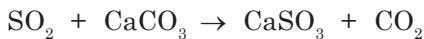
- Conversión de SO_2 en SO_3 con recuperación de H_2SO_4 posterior

Mientras que el lavado alcalino del gas residual produce aguas residuales, la oxidación del SO_2 en SO_3 da como resultado la producción de ácido sulfúrico, que se puede reciclar:



Se ha informado de otra técnica que se puede aplicar:

- fluidización por vía seca con polvo de cal:



6.1.2.3.2. Principio de tratamiento del agua residual

En la producción de pigmentos inorgánicos, el agua residual se origina principalmente de:

- Lavado de gas residual

- Licor madre
- Lavado de producto (pigmentos)
- Limpieza de recipientes y suelos

Los efluentes de agua de la fabricación de pigmentos inorgánicos, principalmente en el caso de los procesos químicos por vía húmeda, están cargados de los siguientes contaminantes:

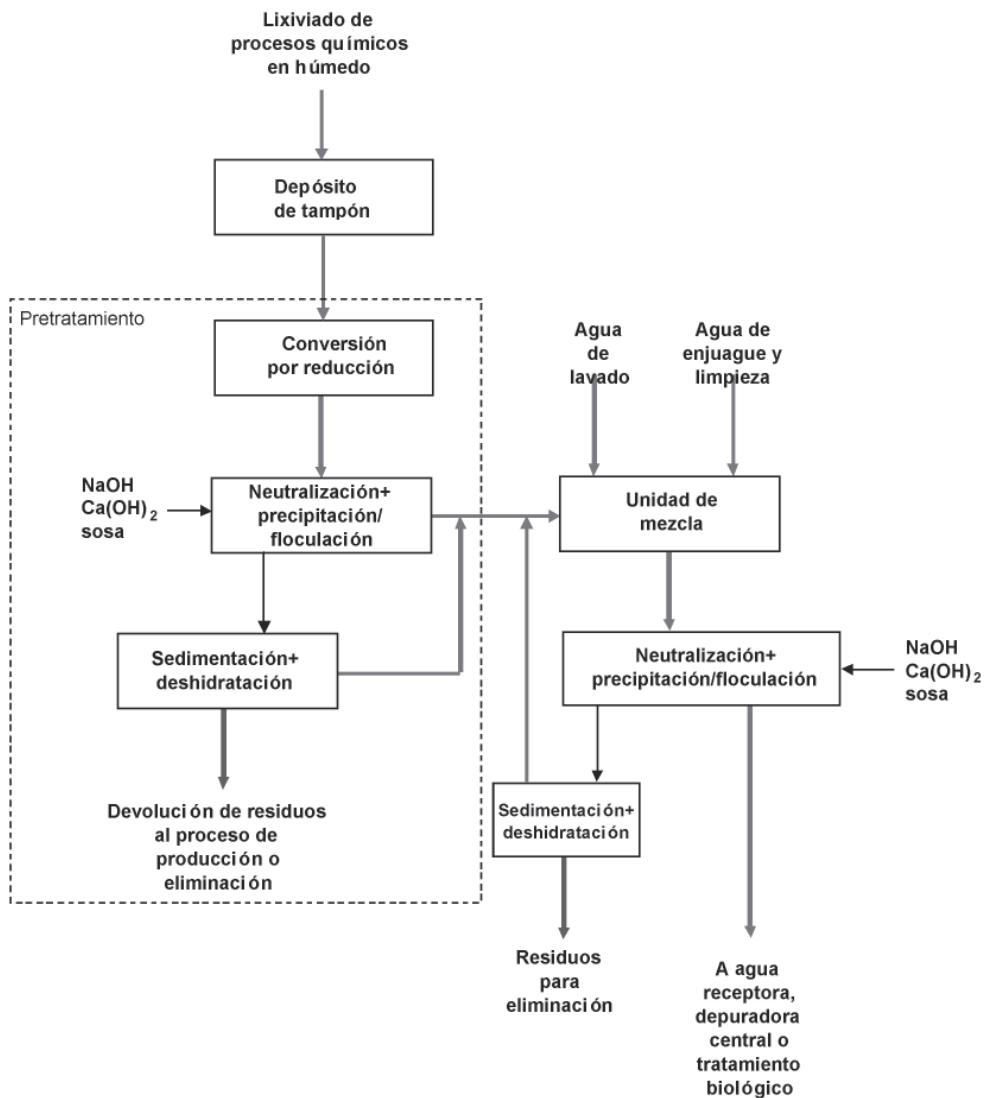
- Compuestos de metales pesados sin disolver (por ejemplo, plomo, cromo, cobalto, cobre, cadmio níquel o cinc).
- Pigmentos en suspensión y subproductos no solubles procedentes de la reacción (por ejemplo, Cr(OH)_3).
- Sales alcalinas de los ácidos minerales usados.
- Materiales individuales (según el proceso de producción), como los sulfuros de la producción de pigmentos de sulfuro de cinc, nitrato y nitrato de la producción de cromato de plomo, vanadato de bismuto, pigmentos de cadmio, fluoruro y vanadio de la producción de pigmentos de circón.

Tales composiciones del efluente acuoso determinan el tratamiento de aguas residuales que se aplicará:

- Concentración de los volúmenes de aguas residuales (por ejemplo, evaporación o secado).
- Pretratamiento, en el caso de elevadas cargas de contaminantes con recuperación de material (mediante precipitación y floculación) y reciclado en la producción de pigmentos.
- Tratamiento mediante medidas individuales (por ejemplo, reducción de cromo (VI)).
- Neutralización y precipitación/floculación del agua residual total.

La Figura 6.3 muestra un diagrama de flujo del tratamiento de los efluentes acuosos (en determinados casos no es necesario un pretratamiento). Como la producción de pigmentos mediante procesos químicos por vía húmeda normalmente es discontinua, los lixiviados se dirigen a un depósito de tampón antes de su tratamiento.

Para evitar los problemas de toxicidad que se generan para los peces, en plantas químicas complejas, los efluentes de determinados procesos de producción se pueden mezclar con otros menos cargados antes de su vertido en el agua receptora (en el caso de instalaciones de pigmentos SIC grandes) o antes de su descarga en las depuradoras municipales (en el caso de instalaciones de fabricación de pigmentos SIC de menor tamaño).

Figura 6.3. Diagrama de flujo del tratamiento de efluentes acuosos

En la precipitación/flocculación, el valor del pH se ajusta añadiendo hidróxido sódico (NaOH), lechada de cal (Ca(OH)₂) o sosa, y los metales pesados se precipitan como hidróxidos. Después de la sedimentación y deshidratación, los residuos de filtración se pueden reciclar en el proceso siempre que esto no provoque efectos negativos en la calidad de los pigmentos, por ejemplo, en la fabricación de pigmentos de cadmio, pigmentos de litopón, pigmentos de sulfato de bario precipitado y pigmentos de óxido de cromo y óxido de hierro. Para el cromato de plomo no es viable el reciclado del lodo.

Los efluentes pretratados se pueden mezclar con otros caudales de aguas procedentes del proceso de producción (por ejemplo, agua de enjuague y limpieza) y se vuelven a enviar para su precipitación/floculación, donde se ajusta el valor del pH, con el fin de obtener una separación optimizada de los contaminantes.

Los residuos sólidos se filtran, deshidratan y reciclan en el proceso o se eliminan. Los efluentes acuosos se pueden descargar en el agua receptora o enviarse a una depuradora en el caso de plantas de producción grandes. Un tratamiento biológico para la eliminación de los restos orgánicos es necesario para el proceso Laux en la fabricación de pigmentos de óxido de hierro, un proceso especial que se describe en la Sección 6.1.2.4.2. Se ha observado que el proceso Laux sólo se utiliza en una empresa en Europa y en las empresas de India en calidad de proceso único. Por lo tanto, no tiene validez general. El tratamiento biológico (desnitrificación) también es necesario para los caudales cargados con nitratos procedentes de la producción de pigmentos de vanadato de bismuto y cromato de plomo.

Además del tratamiento de los efluentes acuosos, se pueden aplicar medidas para reducir los volúmenes de aguas residuales, por ejemplo:

- Optimización de los procesos de lavado mediante el uso múltiple de lixiviado con el fin de concentrar sales para facilitar la eliminación.
- Métodos de tratamiento empleados para gases residuales secos.

Si los gases residuales se tratan mediante lavado (debido a la fiabilidad y buenos resultados de limpieza de los lavadores), el agua residual generada por la operación de lavado se trata del modo descrito anteriormente.

6.1.2.4. PIGMENTOS DE ÓXIDO DE HIERRO

Los pigmentos de óxido de hierro constan principalmente de óxidos de hierro o hidróxidos de óxido de hierro en diferentes modificaciones de cristal. En Europa se emplean industrialmente varios procesos químicos para la producción de pigmentos de óxido de hierro:

- Proceso de precipitación (pigmentos amarillos, rojos, naranjas y negros).
- Proceso de Penniman-Zoph (pigmentos amarillos, rojos, naranjas y negros).
- Proceso Laux (pigmentos negros, marrones, amarillos y rojos).

En el BREF LVIC-S [24, European IPPC Bureau, 2004] se puede encontrar información adicional sobre la producción de pigmentos de óxido de hierro.

6.1.2.4.1. Precipitación y proceso de Penniman-Zoph

Mediante la oxidación de las soluciones de sulfato de hierro (II) en determinadas condiciones de reacción y el uso de determinados gérmenes, se pueden fabricar pigmentos amarillos, negros y rojos, siendo los amarillos ($\alpha\text{-FeOOH}$) los más importantes.

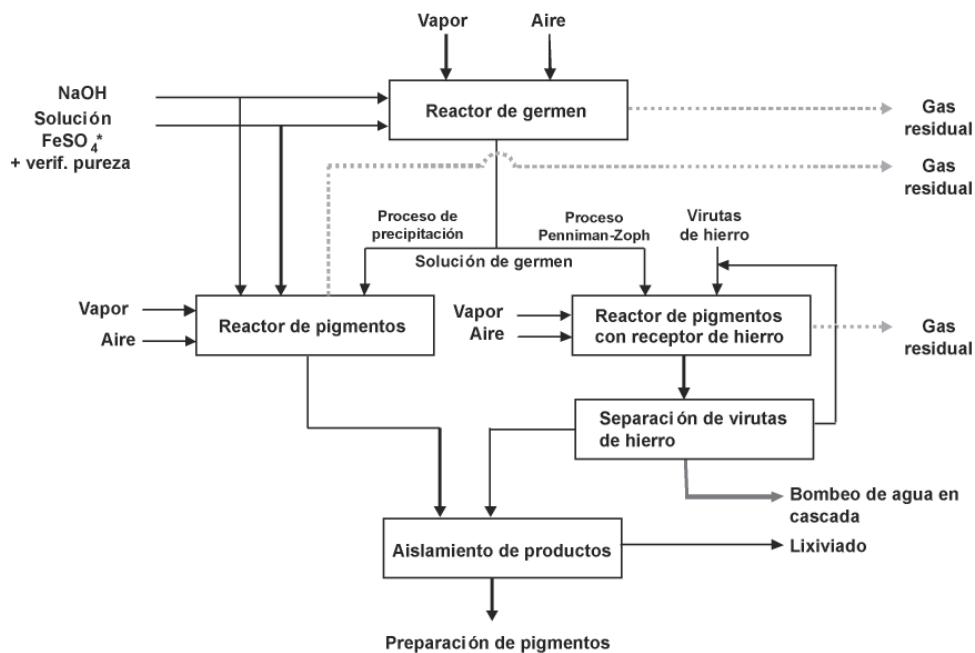
Los gérmenes $\alpha\text{-FeOOH}$ cristalinos son muy finos y se pueden utilizar como pigmentos transparentes. Con el fin de obtener pigmentos con elevada potencia de ocultación, estos gérmenes tienen que aumentar hasta un determinado tamaño necesario para el tono. Para aumentar las partículas de pigmento se puede emplear tanto el proceso de precipitación como el proceso de Penniman-Zoph.

Por lo general, los procesos de oxidación acuosa tienen dos fases:

- Generación de los gérmenes definidos.
- Aumento hasta un determinado tamaño de partícula.

La Figura 6.4 muestra las etapas de los procesos de oxidación acuosa.

Figura 6.4. Procesos por vía húmeda para la producción de pigmentos de óxido de hierro y medidas para la reducción de emisiones



*Subproducto
proceso TiO₂

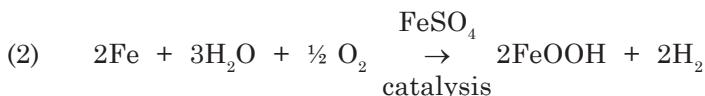
En el proceso de precipitación se añade una solución de sulfato de hierro (II), hidróxido sódico y aire para obtener el aumento de la partícula. La oxidación del hierro se lleva a cabo en un reactor a una temperatura de unos 70 °C con la adición de vapor. La ecuación de la reacción es la siguiente:



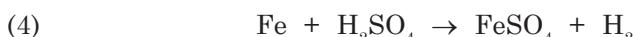
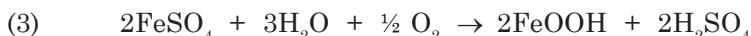
Las soluciones de sulfato de hierro (II) son residuos procedentes de otros sectores, como la producción de dióxido de titanio o el licor del decapado de hierro y acero. Para garantizar una calidad de producto estable, estos residuos de producto sólo se pueden utilizar si no contienen iones de coloración, como manganeso (II) o cromo (III), debido a su efecto negativo en la calidad de los pigmentos de óxido de hierro.

El proceso de Penniman-Zoph (el método de producción más extendido para los pigmentos amarillos de óxido de hierro) se lleva a cabo mediante la adición de virutas de hierro que se disuelven y oxidan con aire en el reactor de pigmentos sin necesidad de añadir ninguna sustancia química. Mediante la oxidación definida de las virutas de hierro, se obtiene una suspensión de pigmento con un valor de pH ligeramente ácido. La ventaja del proceso de Penniman-Zoph, en comparación con el proceso de precipitación, es que reduce considerablemente la cantidad de sales neutras (por ejemplo, Na_2SO_4 o NaCl) que se forman como subproductos debido a que el ácido sulfúrico generado por la hidrólisis-oxidación de sulfato de hierro (II) (reacción (3) más adelante) reacciona con las virutas de hierro para producir sulfato de hierro (II) (reacción (4) más adelante):

Reacción de resumen:

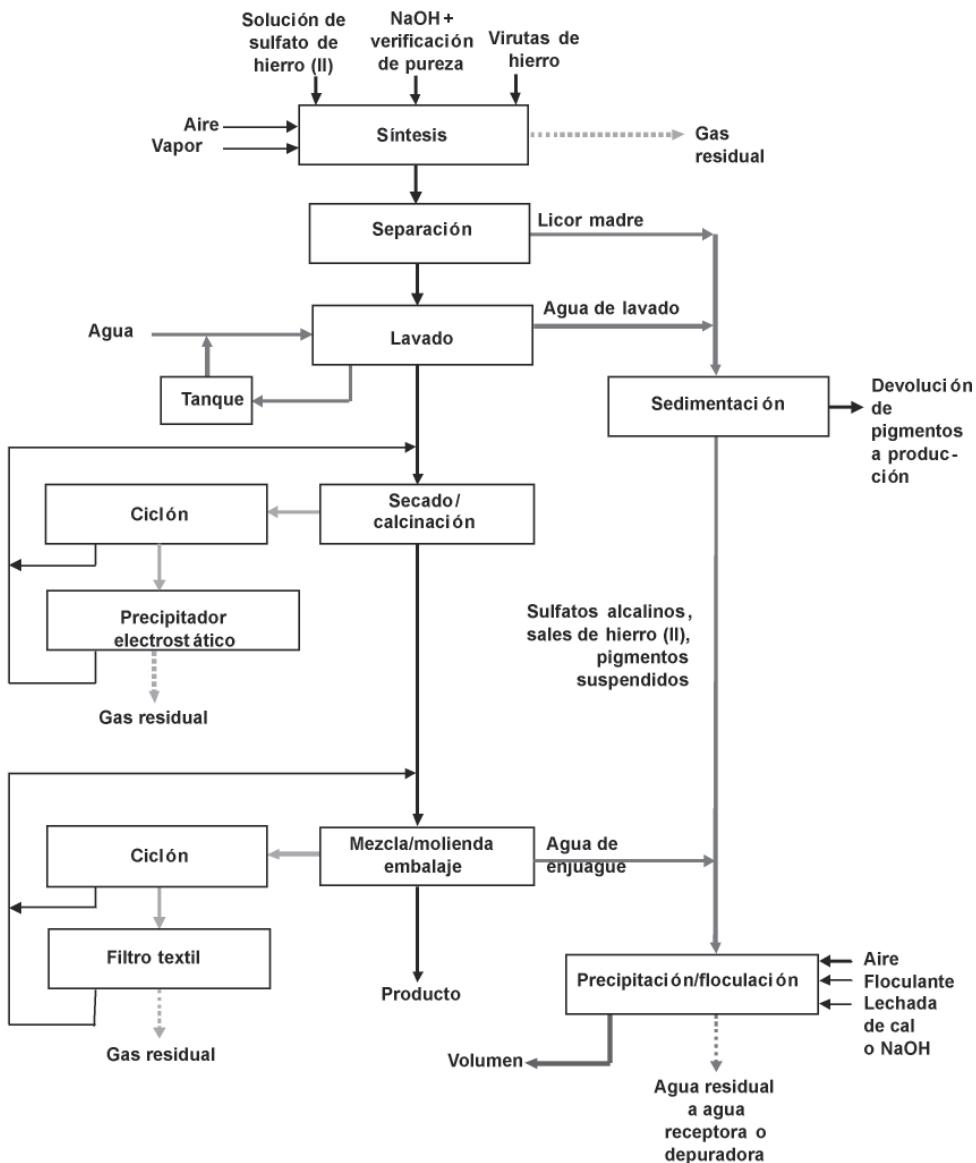


Reacciones básicas:



Para la aceleración de la reacción, la temperatura se mantiene estable a unos 80 °C mediante la adición de vapor. La cantidad de aire también se tiene que controlar para minimizar el riesgo de explosiones y también para minimizar las emisiones de calor y gas residual. Una solución para obtener esto es el funcionamiento por encima de la temperatura a la que la presión de vapor del agua es lo suficientemente alta para cubrir la cúpula del reactor.

Figura 6.5. Etapas de los procesos de oxidación acuosa en la producción de pigmentos de óxido de hierro



Se utilizan residuos de hierro de otros sectores.

En el proceso de Penniman-Zoph para la producción de óxido de hierro amarillo, se pueden obtener dos tonos de amarillo distintos mediante la variación de los parámetros del proceso (tamaño de germen distinto).

Este mismo proceso también se puede utilizar para la fabricación de pigmentos de óxido de hierro negros. No obstante, para el aumento del pigmento se prefiere el proceso de precipitación. Para la obtención de pigmentos negros, las soluciones de sales de hierro (II) se neutralizan mediante la adición de álcali y se oxidan con la adición de aire a temperaturas de 90 a 100 C, hasta el punto en el que se obtiene una relación de hierro (II)/hierro (III) de 0,5 (Fe_3O_4). En condiciones adecuadas para el aumento del germen y una vez concluida la oxidación completa, se puede emplear un proceso similar para producir gérmenes de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ muy finos que son necesarios para los pigmentos rojos $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ fácilmente dispersables con una solidez de color elevada.

En la Figura 6.5. se presentan los procesos por vía húmeda para la fabricación de pigmentos de óxido de hierro así como las medidas para la reducción de las emisiones.

La síntesis de los pigmentos que se lleva a cabo mediante el proceso de precipitación (solución FeSO_4 y NaOH) o el proceso de Penniman-Zoph (virutas de hierro) va seguida de la separación de los pigmentos. Como ya se ha descrito anteriormente, los pigmentos se lavan, se secan y, si es necesario, se calcinan y muelen.

6.1.2.4.1.1. *Tratamiento de gases residuales*

Las etapas del proceso térmico, como el secado, la calcinación o la molienda por vía seca, son fuentes potenciales de emisiones de polvo. En muchos casos, el primer tratamiento de los gases residuales se lleva a cabo en ciclones aunque, por lo general, su rendimiento de limpieza no es suficiente porque sólo pueden separar las partículas gruesas. Los tratamientos de gases residuales posteriores se seleccionan según distintos aspectos. Debido al pequeño tamaño de las partículas de pigmento, se tienen que emplear precipitadores electrostáticos o filtros de tela. Como los filtros de tela se atascan fácilmente en condiciones húmedas, se suele preferir el uso de precipitadores electrostáticos para la limpieza del gas residual que procede de los secaderos. En los procesos de molienda que generan gas residual con bajo contenido de humedad, los filtros de tela son más ventajosos.

6.1.2.4.1.2. *Tratamiento de aguas residuales*

Tal y como se muestra en la Figura 6.5, los efluentes acuosos constan de lixiviado, agua de lavado y agua de enjuague. Los pigmentos no solubles en agua se separan en una balsa de sedimentación y se reciclan en la producción, cuando es posible. Los efluentes residuales del proceso de precipitación o del proceso de Penniman-Zoph son bastante distintos.

En el proceso de precipitación, tal y como se revela en la ecuación de reacción (1), se genera Na_2SO_4 como subproducto. El FeSO_4 residual también se descarga con los efluentes acuosos de modo que el agua residual contiene concentraciones altas de sales y materiales sólidos en suspensión.

En el proceso de Penniman-Zoph, se añaden las virutas de hierro y se convierten en el producto deseado mediante la adición de agua y oxígeno. En la reacción química, el ácido sulfúrico se obtiene como producto intermedio, ecuación (3), que se consume inmediatamente, ecuación (4). En este proceso no se añaden ni generan sales alcalinas. Por lo tanto, los efluentes del proceso de Penniman-Zoph contienen menos sales que el agua residual del proceso de precipitación.

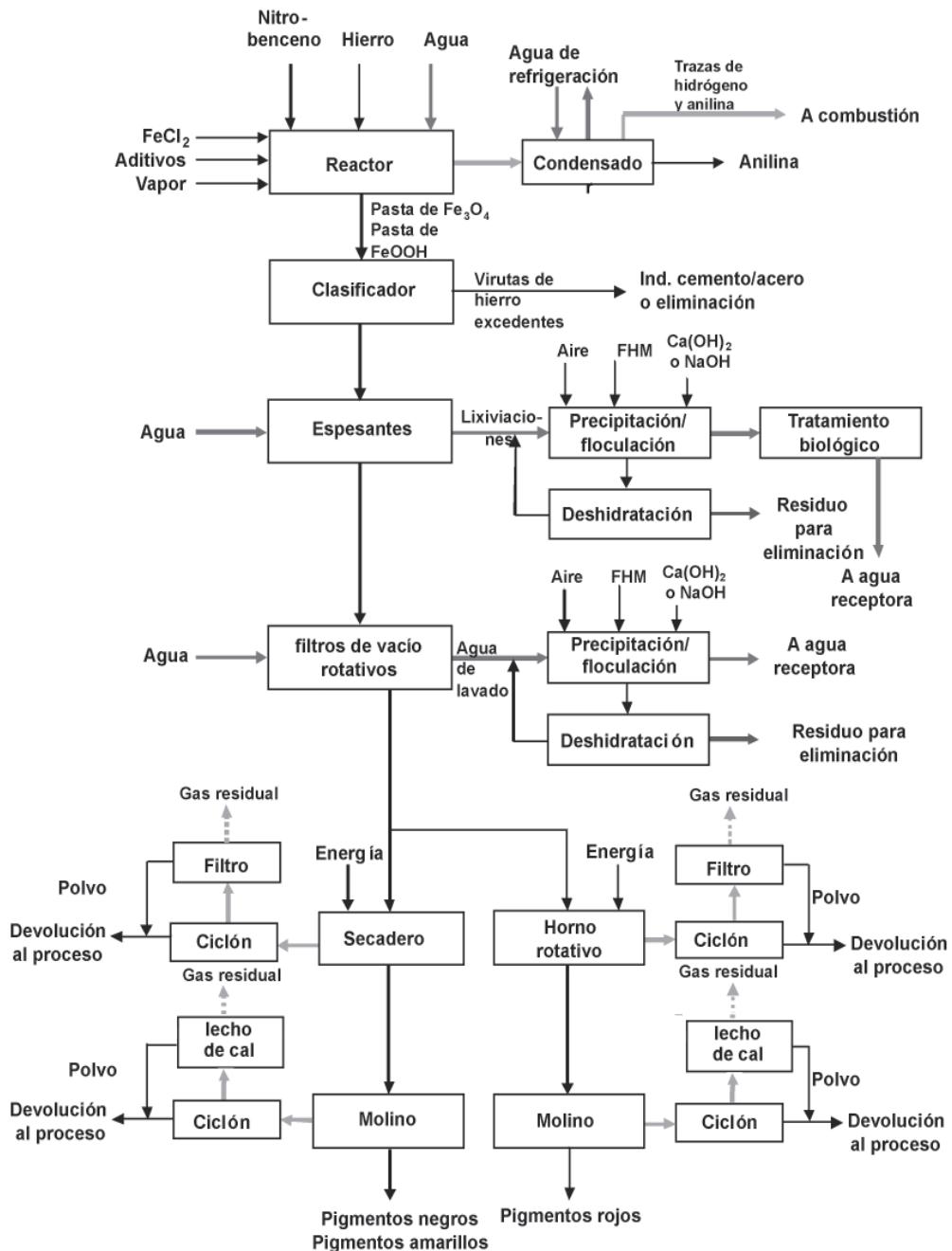
Para el proceso de Penniman-Zoph así como para el proceso de precipitación, el tratamiento de precipitación, el tratamiento de efluentes acuosos consta de una etapa de oxidación para transformar hierro (II) en hierro (III) mediante aireación con oxígeno, seguido de una etapa de precipitación/floculación (con la adición de una base y una sosa como sustancias químicas de precipitación en caso necesario). En algunos casos se añade un agente desespumante o un floculante al agua residual.

El contenido de hierro (II) también se puede reducir en una fase de neutralización después de la etapa de reacción: una solución alcalina y aire/oxígeno reaccionan con el hierro (II) para producir óxido de hierro (III).

6.1.2.4.2. *Proceso Laux*

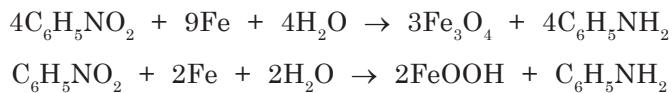
Otro proceso de oxidación acuosa, para la producción de pigmentos de óxido de hierro, es el proceso Laux, presentado en la Figura 6.6. Mediante la adición de soluciones de cloruro de hierro (II) o de aluminio, ácido sulfúrico y ácido fosfórico (que actúan de catalizadores), Laux modificó el proceso de anilina anterior (reducción de compuestos aromáticos de nitrógeno con hierro metálico) para así evitar los residuos de óxido de hierro no adecuados y obtener pigmentos de óxido de hierro de alta calidad con una elevada intensidad de color. Los pigmentos de Fe_3O_4 se pueden usar directamente o se pueden convertir en pigmentos rojos de alta calidad $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ mediante calcinación. La adición de cloruro aluminíco (en vez de cloruro de hierro (II)) provoca la formación de pigmentos amarillos $\alpha\text{-FeOOH}$ de alta calidad. La adición posterior de una solución de cloruro de hierro (II) o aluminíco y ácido fosfórico puede modificar las propiedades de los pigmentos de óxido de hierro.

Figura 6.6: Producción de pigmentos de hierro mediante el proceso Laux



Las materias primas de hierro para el proceso Laux son principalmente trituraciones de hierro de colada o forjado de hierro, que deben estar prácticamente sin aceites ni grasas. El tamaño de partícula del hierro, el estado metalúrgico y el índice de adición de hierro y nitrobenceno (u otro compuesto de nitrógeno) determinan la calidad de los pigmentos resultantes. Las soluciones de cloruro de hierro (II) proceden de las plantas de tintado de acero, entre otras fuentes.

Las ecuaciones de reacción química para la producción de pigmentos negros Fe_3O_4 y pigmentos amarillos $\alpha\text{-FeOOH}$ son, respectivamente:



Los pigmentos negros (Fe_3O_4) y los pigmentos amarillos ($\alpha\text{-FeOOH}$) se forman en ausencia de bases, y el nitrobenceno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$) se utiliza como agente de oxidación. Al final de la reacción, la mayor parte de la anilina ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) se separa por condensación y el residuo se destila mediante destilación por vapor. El gas residual procedente del condensador que contiene hidrógeno y restos de anilina se envía a una planta de energía para su combustión.

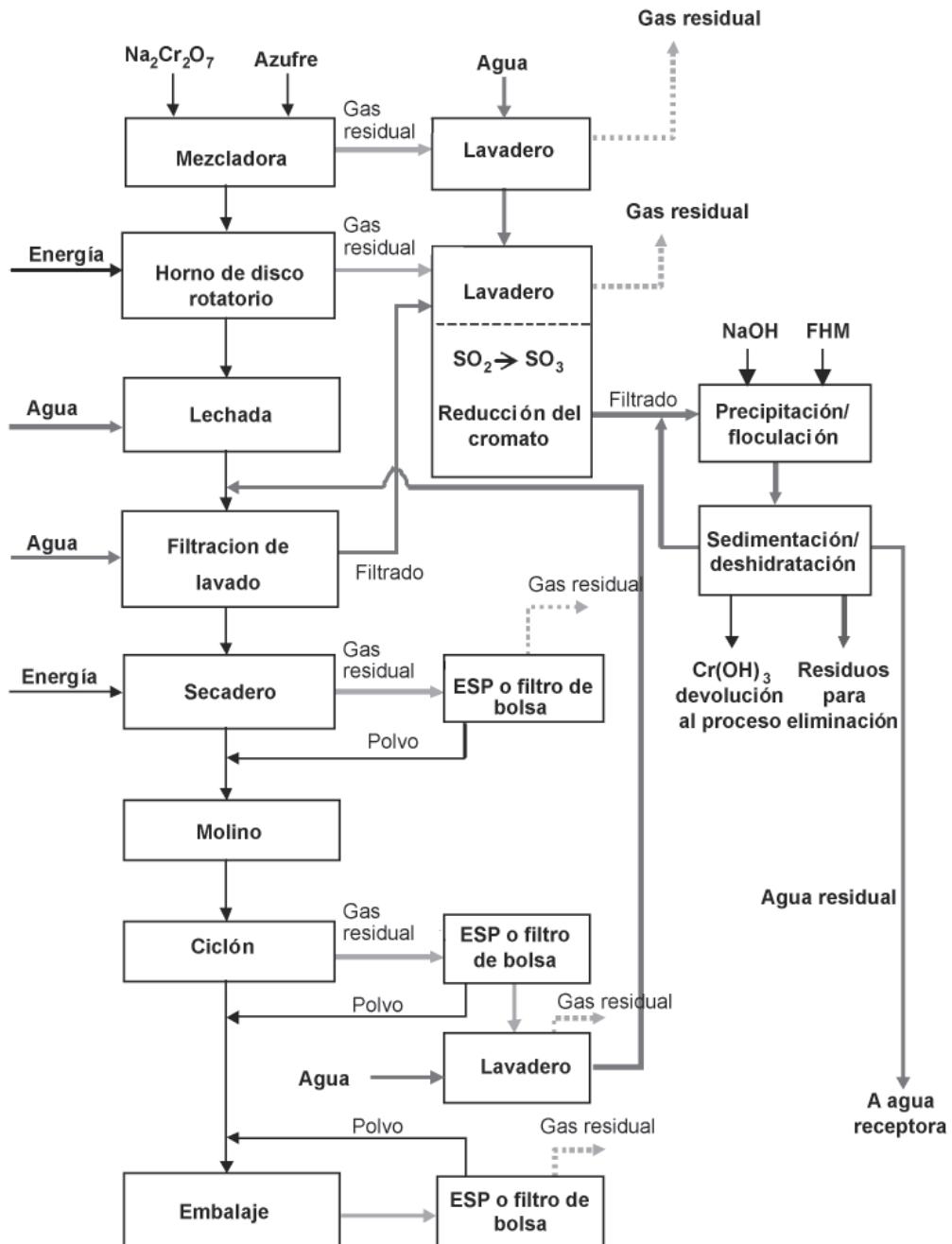
El pigmento en el reactor es una pasta que, además de FeCl_2 , también contiene hierro residual. Las virutas de hierro que sobran se separan del pigmento en un clasificador. Se pueden reutilizar en el sector del cemento/acero o se tienen que eliminar. Después de la separación del hierro, la pasta de pigmento se lava y se envía, libre de sales, a los espesadores y, a continuación, a filtros de vacío rotativos. Aunque la anilina que contiene lixiviados de los espesadores se envía a la depuradora central, el agua de lavado procedente de la filtración se envía a la planta central de precipitación de aguas residuales.

Según el producto que se desee, la pasta del pigmento se seca y se muele posteriormente (pigmentos negros o amarillos) o bien se calcina en un horno rotativo y se muele (pigmentos rojos). El agua residual del secadero y el horno rotativo se pasa por ciclones para la separación total del polvo y posteriormente se envía a los precipitadores electrostáticos.

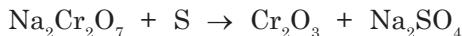
6.1.2.5. PIGMENTOS DE ÓXIDO DE CROMO (III)

Una planta en Alemania produce óxidos de cromo en un proceso de estado sólido. El proceso de fabricación y los procesos posteriores para la preparación de los pigmentos se muestran en la Figura 6.7.

Figura 6.7. Producción de pigmentos de óxido de cromo (III)



En este proceso de estado sólido, el dicromato sódico ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) se reduce con azufre mediante la mezcla intensiva de los componentes y la calcinación posterior en un horno de disco rotatorio de 800 a 1000 °C.



El subproducto de la calcinación es el sulfato sódico. La reacción genera emisiones de SO_2 .

Tras la reacción, las sales solubles en agua se separan mediante filtración por lavado. A continuación, el producto se seca, se muele y, finalmente, se empaqueta para transportarlo.

La materia prima de dicromato sódico se produce conjuntamente con el cromato sódico mediante un proceso en el que se mezclan el mineral de cromo molido y la carbonato de sodio (en ocasiones también se añade cal o calcino lixiviado), a continuación se realiza la cocción en una atmósfera oxidante y se produce el lixiviado con licor de cromato diluido o agua. El cromato sódico impuro que se produce en esas operaciones se neutraliza, se filtra y se convierte en dicromato sódico.

6.1.2.5.1. *Tratamiento de gases residuales*

Las principales fuentes de emisiones de gases residuales proceden de la etapa de mezcla, del horno de disco rotatorio, de la etapa de secado y de la molienda del producto. El gas residual cargado de polvo procedente de la mezcla se purifica mediante un lavador, lo que provoca que el agua residual esté cargada con los contaminantes eliminados del gas residual.

El gas residual del horno de disco rotatorio está cargado principalmente con polvo, metales pesados y dióxido de azufre. El gas residual se purifica de su contenido de polvo total en un lavador donde el agua de reducción empleada es el agua gastada en el lavador anterior (véase la Figura 6.7). SO_2 se oxida a SO_3 y éste último se convierte en un lavador del 10 al 20% de ácido sulfúrico mediante la adición de agua. El licor de lavado obtenido se emplea para la acidificación del agua residual antes de la reducción del cromato.

Los flujos de aguas residuales procedentes del secadero y del proceso de molienda se tratan en los tratamientos de gases residuales para su separación, tal y como se ha descrito anteriormente.

6.1.2.5.2. *Tratamiento de aguas residuales*

En la Tabla 6.5. se resumen los flujos principales de efluentes acuosos y su composición.

Tabla 6.5. Caudales principales de efluentes acuosos para la producción de pigmentos de óxido de cromo (III)

Etapa de proceso	Fuente de efluente	Contaminantes
Mezcla	Agua de lavado del lavador de gases residuales	Dicromato sódico
Lavado del producto	Agua de lavado	Sulfato sódico Dicromato sódico Pigmentos en suspensión
Mezcla/molienda, embalaje	Agua de enjuague	Pigmentos en suspensión

El cromo (VI) se tiene que separar del agua residual. Por lo tanto, el dicromato sódico sin reaccionar se reduce en primer lugar a cromo (III) mediante la adición de dióxido de azufre o sulfito de hidrógeno sódico. Se dosifica un ligero exceso del agente de reducción para obtener una reacción completa. Esto provoca una carga de sulfito y una demanda de oxígeno química en el agua residual. La reducción del cromato se lleva a cabo en condiciones ligeramente ácidas. Para obtener el valor de pH necesario, se añade el ácido sulfúrico obtenido del tratamiento de aguas residuales de la calcinación.

Tras la reducción del cromato, el cromo (III) se precipita con una base de sodio como hidróxido de cromo mediante la adición de agentes de floculación (FHM). El sedimento se deshidrata mecánicamente y se recicla en el proceso.

Junto con otros caudales de efluentes, el agua residual total procedente de la producción de pigmentos de óxido de cromo (III) se vuelve a purificar en una etapa de precipitación y, a continuación, se descarga en el agua receptora. La demanda de agua específica es aproximadamente de $60 \text{ m}^3/\text{t}$ de pigmentos producidos.

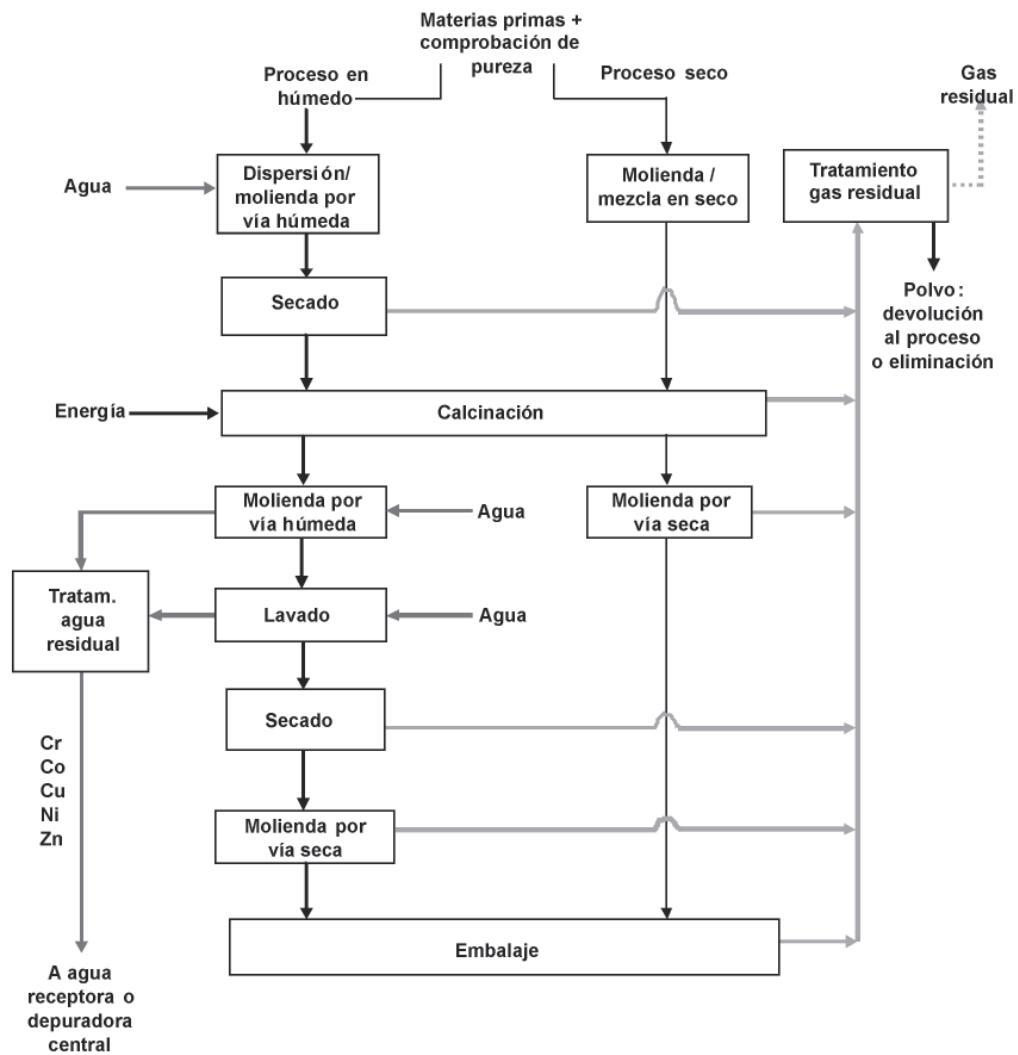
6.1.2.5.3. *Residuos*

Los hidróxidos de cromo obtenidos en la precipitación después de la reducción de cromato se recuperan y se reciclan en el proceso. Otros residuos procedentes de la etapa de la precipitación se tienen que descargar en un emplazamiento de eliminación adecuado.

6.1.2.6. PIGMENTOS INORGÁNICOS COMPLEJOS (CIC)

La fabricación de los pigmentos inorgánicos complejos se presenta en el diagrama de flujo en la Figura 6.8.

Figura 6.8. Producción de pigmentos inorgánicos complejos



El proceso de producción de pigmentos de rutilo y espinela consta de una reacción de óxidos de metal finos, hidróxidos o carbonatos a temperaturas de entre 800 y 1400 °C. El proceso de reacción se acelera mediante la selección de materiales de reacción dispersos finamente. Las materias primas de la fabricación de pigmentos inorgánicos complejos se pesan, se mezclan y se calcinan en un horno rotatorio o de túnel (continuamente) o en un horno de cámara (de forma discontinua). Después del proceso de calcinación, en algunos casos es necesario que el clínker obtenido se purifique de las sustancias solubles mediante trituración intensa por vía húmeda, se seque y, si es necesario, se vuelva a moler.

6.1.2.6.1. *Tratamiento de gases residuales*

La fabricación de los pigmentos de rutilo requiere anatasa reactiva o hidrolisato de dióxido de titanio que contenga ácido sulfúrico adherido químicamente. Para la oxidación del antimonio, se envía aire al proceso de calcinación. El gas residual que sale del proceso de combustión se purifica para eliminar las partículas de polvo de materia prima y otros gases (por ejemplo, SO_2 o NO_x) mediante separadores de partículas y otros tratamientos de gases residuales. El polvo recuperado normalmente se puede reciclar en el proceso. El fluoruro que contiene los gases residuales de la síntesis de los pigmentos de silicato de circonio se pueden eliminar mediante lavado con cal.

6.1.2.6.2. *Tratamiento de aguas residuales*

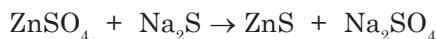
El volumen y el contenido de los contaminantes de los efluentes acuosos que se derivan del proceso de producción dependen de los pigmentos producidos. Los efluentes acuosos contienen sales neutras disueltas y materiales sólidos en suspensión (óxidos y pigmentos). Los materiales sólidos en suspensión se tratan mediante floculación y se separan del agua residual. Los residuos sólidos por tonelada de producto de pigmento son bastante pequeños (véase la Sección 6.1.3.1.3 más adelante).

6.1.2.7. PIGMENTOS DE SULFURO DE CINC, SULFATO DE BARIO Y LITOPÓN

6.1.2.7.1. *Pigmentos de sulfuro de cinc y litopón*

Los productos que se utilizan para producir pigmentos de sulfuro de cinc y litopón (compuesto de una mezcla de sulfato de bario y sulfuro de cinc) son muy similares y están estrechamente conectados con los procesos que se utilizan para producir pigmentos de sulfato de bario (el subproducto de sulfuro sódico de la precipitación del sulfato de bario se utiliza en la precipitación de sulfuro de cinc). Además, existe una conexión estrecha en el campo del tratamiento de aguas residuales. La Figura 6.9 muestra un diagrama de flujo para la producción de pigmentos de litopón.

Los pigmentos de sulfuro de cinc se producen a partir del sulfato de cinc y el sulfuro sódico según la ecuación siguiente:



El litopón se produce mediante la precipitación de sulfato de cinc con sulfuro de bario:

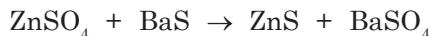
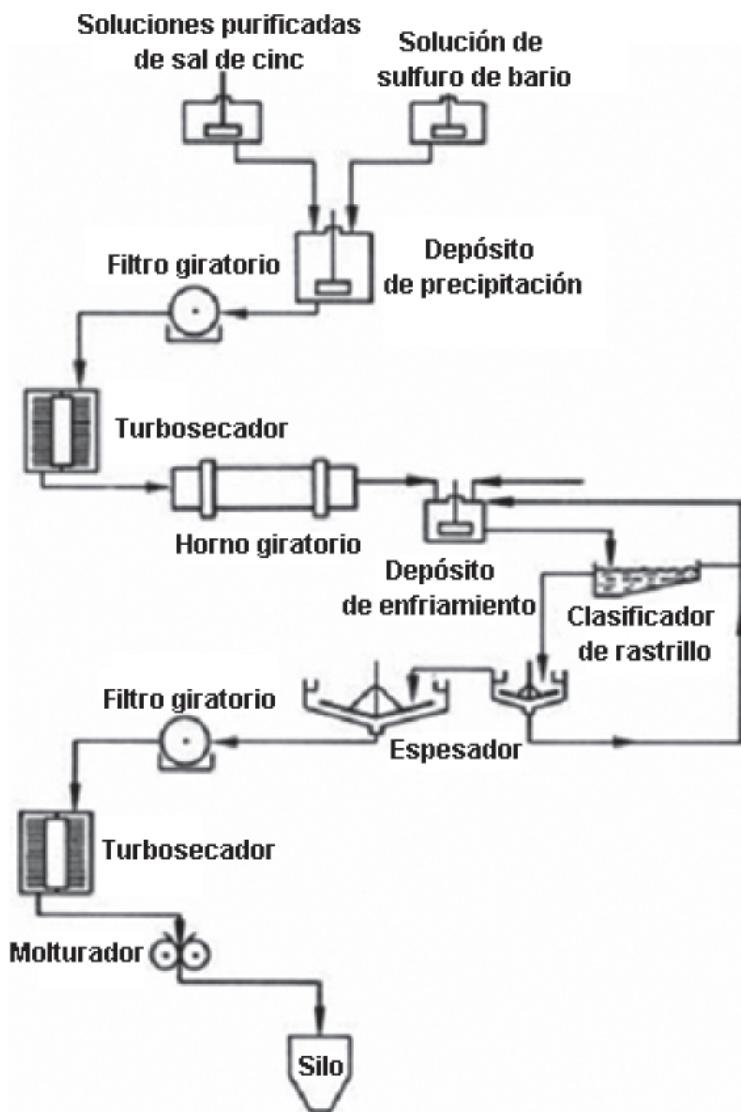


Figura 6.9. Diagrama de flujo para la producción de pigmentos de litopón
 [1, Ullmann, 2001]



Para la producción de pigmentos de sulfuro de cinc y litopón, se utilizan soluciones de sales de cinc sin tratar (lixiviados de cinc) obtenidas de otras empresas.

La fuente de cinc puede ser óxido de cinc procedente de un horno de fundición, escoria o restos de cinc, escoria de cloruro amónico procedente de galvanización por inmersión en caliente, o residuos líquidos, como los licores de curtido proce-

dentes de las plantas de galvanización. La fuente principal de las soluciones de sulfato de cinc es la electrólisis así como la producción de restos de cinc y óxido de cinc [1, Ullmann, 2001].

Se tienen que purificar las soluciones de sales de cinc que contienen impurezas. La primera etapa de la purificación consta de la cloración. El hierro y el manganeso se precipitan como óxidos-hidróxidos y el cobalto, el níquel y el cadmio como hidróxidos. Posteriormente, las soluciones se mezclan con polvo de cinc a 80 °C (cementación). Todos los elementos más nobles que el cinc (por ejemplo, cadmio, níquel, cobalto o cobre) se precipitan casi por completo, mientras que el cinc se desarrolla en una solución. El lodo de cinc se filtra y se lleva a hornos de fundición de cobre para la recuperación de los componentes de metales nobles (segunda etapa de purificación). Tras ello, la solución de sulfato de cinc purificado se convierte con sulfuro sódico, por lo que se forman sulfuro de cinc y sulfato sódico. En el caso del litopón, se utiliza sulfuro de bario en vez de sulfuro sódico. El sulfuro sódico aplicado es un subproducto de la producción de sulfato de bario que se compone de sulfuro de bario y sulfato sódico.

La preparación posterior de los pigmentos de sulfuro de cinc y litopón es idéntica. Para obtener las propiedades de pigmentación necesarias, el producto precipitado se drena, se seca y se calcina.

A continuación, el producto caliente se lava en agua, se sedimenta, se seca, se muele y se empaqueta para transportarlo.

6.1.2.7.1.1. Tratamiento de gases residuales

Las principales fuentes de gases residuales proceden de los procesos térmicos: secado y calcinación de los pigmentos. Ambos procesos constituyen fuentes de emisiones de polvo, metales pesados y dióxido de azufre.

Los gases residuales se purifican en un sistema de limpieza de gases de dos etapas. En la primera etapa, el polvo se lava con agua; el pigmento se recupera por sedimentación y se recicla en producción. En la segunda etapa, el dióxido de azufre reacciona con la suspensión de óxido de cinc y se forma una solución de sulfito de cinc que se reutiliza como una materia prima para la producción de sulfato de cinc.

6.1.2.7.1.2. Subproductos sólidos

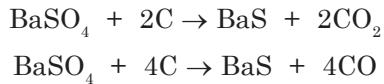
Los sólidos, que contienen hierro y manganeso y que se precipitan durante la primera etapa de purificación del lixiviado de cinc, se reciclan externamente.

Los lodos de metales producidos durante la cementación, se suministran a hornos de fundición de cinc.

6.1.2.7.2. *Pigmentos de sulfato de bario precipitado*

Las materias primas son baritas naturales con un contenido de sulfato de bario de más del 90%.

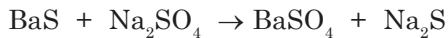
Las baritas se reducen en sulfuro de bario soluble en agua mediante reacción con coque:



Los subproductos son el dióxido de carbono y el dióxido de azufre. Como hay un pequeño excedente de oxígeno en la reacción, el monóxido de carbono se transforma en dióxido de carbono.

Se realiza el lixiviado en agua del sulfuro de bario y se purifica mediante separación y filtración.

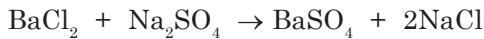
La mayor cantidad de sulfato de bario se obtiene por precipitación del sulfuro de bario con sulfato sódico:



El subproducto de sulfuro sódico se puede utilizar de distintas formas: se puede concentrar y usar como agente de desbarbado en el sector del cuero o se puede usar como elemento intermedio para la producción de sulfuros inorgánicos y orgánicos. En algunos casos, se transforma en sulfuro de hidrógeno y se utiliza en el proceso de Claus para la producción de azufre.

En una planta de Alemania, el sulfuro sódico se emplea principalmente para la precipitación de sulfuro de cinc. El exceso de cantidad se transforma en sulfuro de hidrógeno que se convierte en ácido sulfúrico en una planta de ácido sulfúrico próximo.

El sulfato de bario especial se produce, por lo general, mediante la reacción de cloruro de bario con sulfato sódico:



El cloruro de bario se obtiene mediante la reacción de sulfuro de bario con ácido clorhídrico. El sulfuro de hidrógeno generado también se convierte en ácido sulfúrico.

A continuación, el sulfato de bario precipitado se aísla por filtración o separación, se purifica mediante lavado intenso con agua, se seca y se muele.

Según las distintas aplicaciones, el tratamiento inorgánico y orgánico es necesario antes o después del secado.

6.1.2.7.2.1. Tratamiento de gases residuales

Los gases residuales procedentes de la producción de sulfuro de bario contienen polvo, metales pesados y dióxido de azufre.

El polvo y los metales pesados se eliminan mediante precipitadores electrostáticos. En la planta de Sachtleben, la eliminación del dióxido de azufre se lleva a cabo en una reacción de dos etapas: primero el dióxido de azufre se absorbe en éter poliglicólico y, a continuación, se anula la adsorción del gas residual a temperaturas elevadas y se envía a la producción de ácido sulfúrico.

Los gases residuales del proceso de secado del sulfato de bario sólo contienen polvo que se lava con agua y se recicla en el proceso de producción.

6.1.2.7.2.2. Residuos sólidos

La cantidad de residuos sólidos que permanecen del lixiviado y purificación del sulfuro de bario depende en gran medida de la calidad de las baritas naturales empleadas. Los residuos sólidos contienen compuestos de bario insolubles, sílice y carbono. Se desecan y se envían al vertedero.

6.1.2.7.3. Tratamiento de aguas residuales

La producción de pigmentos de sulfuro de cinc y sulfato de bario es un proceso integrado que está estrechamente combinado cuando se considera el tratamiento de las aguas residuales.

El agua residual que contiene sales de cinc procedentes de la producción de pigmentos de sulfuro de cinc, se trata con una solución de sulfuro sódico. El agua residual que contiene sulfuro procedente de la producción de sulfato de cinc, se trata con una solución de sales de cinc.

En ambos casos, el sulfuro de cinc insoluble se precipita y se recicla en el proceso de producción.

La sal de bario posiblemente disuelta se precipita con sulfato sódico y se recicla en el proceso de producción.

Dado que todos los sólidos generados en el proceso se reciclan en producción, el tratamiento de las aguas residuales funciona sin producir residuos sólidos.

En la Tabla 6.6 se enumeran las diferentes fuentes de las aguas residuales, junto con sus contaminantes principales, procedentes de la producción de pigmentos de sulfuro de cinc, litopón y sulfato de bario.

Tabla 6.6. Fuentes de las aguas residuales procedentes de la producción de pigmentos de sulfuro de cinc, litopón y sulfato de bario

Etapa de proceso	Tipo de agua residual	Contaminantes
Drenaje de productos preliminares	Agua de filtración	Cloruro sódico Sulfato sódico Pigmentos en suspensión
Secado de productos preliminares	Agua de lavado de gas residual	Sólidos en suspensión
Proceso térmico	Agua de lavado de gas residual	Pigmentos en suspensión Sulfito
Lavado y drenaje de productos acabados	Agua de filtración	Cinc disuelto Pigmentos en suspensión
Secado de productos acabados	Agua de lavado de gas residual	Pigmentos en suspensión
Purificación de las líneas de producción	Agua de lavado y purificación	Pigmentos en suspensión

6.1.3. Niveles de consumo y emisión

6.1.3.1. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES, ENERGÍA Y AGUA

6.1.3.1.1. *Consumo de energía*

El consumo de energía depende del proceso químico empleado, de la tecnología utilizada, así como de las necesidades del mercado y la disponibilidad de fuentes de energía, como, por ejemplo, el gas natural como una fuente de energía limpia.

La Tabla 6.7 proporciona algunos ejemplos del consumo de energía en la producción de pigmentos SIC.

Tabla 6.7. Consumo de energía en varias plantas que producen pigmentos SIC en Europa

Ejemplos de plantas	Tipos de pigmentos producidos	Consumo eléctrico	Consumo de calor	Fuentes principales de uso de energía
		MWh/año/tonelada de pigmentos	MWh/año/tonelada de pigmentos	
F ¹	• Sulfuro de cinc	5,74		• Calcinación en horno eléctrico • Secado
G ¹	• Aluminatos de estroncio	39,07		• Calcinación en horno eléctrico • Molienda en molinos de bolas • Tamizado con malla estándar
H ²	• Pigmentos inorgánicos complejos	1	6,54	• Calcinación en hornos intermitentes • Secado

¹ Comentario del grupo de trabajo
² Comentario del grupo de trabajo

6.1.3.1.2. *Emisiones a la atmósfera*

Los niveles de concentración de contaminantes medidos en el gas residual después del tratamiento en varias plantas de Europa se indican en la Tabla 6.8. Los niveles indicados se basan en valores medios diarios y en datos que van de varios meses hasta un año.

6.1.3.1.2.1. *Pigmentos de óxido de hierro*

En los procesos de precipitación y de Penniman Zoph, las emisiones de polvo y metales pesados se minimizan mediante el uso de ciclones y precipitadores electrostáticos (o filtros de tela).

En el proceso Laux, en el reactor se produce hidrógeno. El gas residual que contiene hidrógeno, que está cargado con restos de anilina, se elimina mediante combustión en una planta de energía central. El gas residual procedente del secadero o del horno de calcinación está cargado principalmente con polvo y se trata en ciclones y precipitadores electrostáticos.

6.1.3.1.2.2. *Pigmentos inorgánicos complejos*

En general, para la eliminación del polvo total que se genera en la producción de los pigmentos inorgánicos complejos, se utiliza un precipitador o un filtro de bolsa en combinación, según resulte adecuado, con un sistema de lavado de gases ácidos secos o semisecos. El nivel de emisión que se obtiene con estas técnicas es <1,5 – 30 mg/Nm³ [21, European IPPC Bureau, 2003].

Tabla 6.8. Niveles de concentración de contaminantes medidos en el gas residual después del tratamiento en varias plantas de Europa

Ejemplos de plantas	Tipos de pigmentos producidos	PdV _o total	Cr ₆	Fluoruros	NH ₃	SO _x	COV	■	Fuentes de gas residual	Tratamientos de gas residual ⁱ
A ¹	• Vanadato de bismuto • Cromato de plomo	1,2	0,109	0,513					• Secado ^a • Molienda ^b • Manipulación de los productos ^b	^a • Lavador de gases húmedo ^b • Filtros de tela
C ¹	• Óxido de hierro • Cromato de plomo • Pigmentos inorgánicos complejos				<20 ^a	<16 ^a			• Lavadores de gases húmedos • Filtros de tela • Polvo eliminado	
D ¹	• Óxido de hierro ^a • Óxido de crómio ^b				<20 ^a	<100 ⁴			• Secado	^a • Filtros de tela ^b • ESP • Filtros de tela
F ²	• Sulfuro de cinc	50,78			0,16	0	0	11,75	• Pesejo y mezcla de materias primas ^b • Calcinación ^a • Secado ^b	^a • Lavador de gases húmedo (alcalino) ^b • Filtro de tela
G ²	• Aluminatos de estroncio	2,2			0	0	0	56	0	• Pesejo y mezcla de materias primas ^b • Calcinación ^b • Molienda • Tamizado ^b
H ³	• Pigmentos inorgánicos complejos	2 – 4 ^{ab}			0,2 – 2 ^c			32 – 65		• Pesejo y mezcla de materias primas ^{ab} • Calcinación ^{abc} • Trituración ^b • Secado ^b

Los valores indicados en esta tabla son valores medios diarios en mg/Nm³.

¹ Comentarios del grupo de trabajo

² Comentario del grupo de trabajo

³ Comentario del grupo de trabajo

⁴ Límite establecido en el permiso

ⁱ Para evitar la generación de aguas residuales, se favorecen los métodos de tratamiento por vía seca para los gases residuales [39. Karschunke, 2004]
^{a, b, c} o hacen referencia a los tratamientos de gas residual mencionados en la misma línea en la última columna de la tabla

El valor máximo para las emisiones de NO_x se considera que sea 400 mg/Nm³ en el porcentaje de O₂ existente en el gas residual. Los niveles de emisión indicados anteriormente son niveles pico y no representan el nivel medio sobre el proceso de calcinación completo, ya que la mayoría de la producción de pigmentos no es continua.

Para el fluoruro (donde corresponda), los valores máximos están alrededor de 5 mg/Nm³.

El valor máximo de SO₂ es de 500 mg/Nm³ en el porcentaje de O₂ existente en el gas residual si se emplea gas natural como combustible.

6.1.3.1.3. *Consumo de agua y emisiones*

Las técnicas empleadas para tratar las aguas residuales en varias plantas que producen pigmentos en Europa se presentan en la Tabla 6.9.

Los niveles de concentración de contaminantes medidos en el agua residual después del tratamiento en varias plantas de Europa se indican en la Tabla 6.10.

Cuando una empresa externa se ocupa de la depuradora, el operador cobra a sus clientes (por ejemplo, el productor de SIC) según su carga (por ejemplo, DQO, N o P). Las condiciones se establecen en un contrato de proveedor de servicios. Esto conlleva una monitorización precisa de los efluentes que entran en la depuradora y produce un tratamiento eficaz de las aguas residuales.

6.1.3.1.3.1. *Pigmentos de óxido de hierro*

Procesos de precipitación y de Penniman-Zoph

La fabricación de pigmentos de óxido de hierro tiene una demanda media de agua de 100 m³/t de producto acabado. No obstante, para la fabricación de pigmentos de óxido de hierro transparentes y de alta pureza la demanda de agua aumenta a 400 m³/t de producto acabado. Las cargas y concentraciones de contaminantes por 100 m³ de agua por tonelada de producto acabado en el proceso de precipitación se resumen en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11. Cargas y concentraciones de contaminantes para la producción de pigmentos de óxido de hierro

Parámetro	Concentración	Carga de contaminantes por tonelada de producto acabado
Fe _{total}	<5 g/m ³	<0,5 kg
SO ₄ ²⁻	<16 kg/m ³	<1600 kg

Tabla 6.9. Técnicas empleadas para el tratamiento de las aguas residuales en varias plantas que producen pigmentos en Europa

Ejemplos de plantas y tipos de pigmentos producidos		Fuentes de agua residual	Tratamientos de aguas residuales
A ¹	<ul style="list-style-type: none"> • Vanadato de bismuto • Cromato de plomo 	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación de pigmentos • Lavado de pigmentos • Lavado de gases residuales 	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación, flokulación, sedimentación y filtración por arena • Filtración de efuentes adicional con cartuchos textiles (<=50 µm) • Tratamiento biológico final en depuradora municipal • Desección de lodo mediante prensa de filtro y eliminación como residuos peligrosos <p>Pretratamiento de caudales de carga elevada (Pb, Sb):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equilibrio de caudal • Precipitación, flokulación, sedimentación • Desección de lodo mediante prensa de filtro • El efluente del pretratamiento se dirige a la etapa de neutralización del tratamiento general de los gases residuales <p>Tratamiento general de los gases residuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equilibrio de caudal • Reducción • Neutralización (varias etapas) • Precipitación/flokulación • Sedimentación • Filtración • El lodo se desecha en una prensa de filtro y se elimina • La filtración de la desecación o el concentrado del reflujo se envían a la neutralización
C ¹		<ul style="list-style-type: none"> • Cromato de plomo • Vanadato de bismuto • Pigmentos cerámicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de aire en etapas de proceso por vía húmeda o caliente como disolución, oxidación de pigmentos/materiales • Licor madre • Lavado de pigmentos • Limpieza de recipientes y suelos <p>Tratamiento biológico (desnitrificación) para los flujos cargados con nitratos procedentes de la producción de pigmentos de vanadato de bismuto (350 kg/t) y cromato de plomo (90 kg/t):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Algunos metales se tienen que eliminar antes de la desnitrificación para prevenir la contaminación del lodo activado • Las soluciones de metanol, etanol o azúcar se utilizan como fuentes de nutrientes de carbono • Equilibrio de caudal • Primera etapa de reacción • Segunda etapa de reacción • Separación (el lodo se devuelve al primer depósito de reacción)
C ¹		<ul style="list-style-type: none"> • Cromato de plomo • Pigmentos inorgánicos complejos 	<ul style="list-style-type: none"> • El efluente se descarga en una depuradora municipal • El lodo de óxido de hierro procedente del tratamiento de las aguas residuales se recicla en el proceso

Ejemplos de plantas y tipos de pigmentos producidos	Fuentes de agua residual	Tratamientos de aguas residuales
D ¹	<ul style="list-style-type: none"> • Óxido de hierro • Óxido de cromo 	<p>Pretratamiento de caudales de carga elevada ($\text{Cr}_{\text{total}} > 10 \text{ mg/l}$):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equilibrio de caudal • Reducción de Cr(VI) a Cr(III) mediante sulfito • Precipitación • Floculación • Separación • Equilibrio de caudal <p>• Filtración</p> <p>• Limpieza de recipientes y suelos</p> <p>• El agua residual pretratada y el agua residual con $\text{Cr}_{\text{total}} < 10 \text{ mg/l}$ (sólo pequeñas cantidades) se envía a la depuradora central</p> <p>• El hidróxido de cromo derivado de la precipitación se recicla en el proceso</p> <p>• Los productos que no cumplen las especificaciones y el polvo de los filtros/lavadores también se reciclan en el proceso</p>
F y G ²	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfuro de cinc • Aluminatos de estroncio 	<p>Los efuentes líquidos generados en la producción de aluminatos de estroncio (planta G) se tratan conjuntamente con los efluentes líquidos generados en la producción de sulfuro de cinc (planta F) en una depuradora que se encuentra en la planta F. Se llevan a cabo las siguientes etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación • Precipitación • Prensa de filtro • Neutralización <p>Después de este tratamiento, los efluentes líquidos se descargan en un sistema de drenaje municipal que los transfiere a una depuradora municipal para su tratamiento final.</p>
H ³	<ul style="list-style-type: none"> • Pigmentos inorgánicos complejos 	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de pigmentos ^a • Trituración por vía húmeda ^b • Limpieza de suelos e instalaciones ^c

¹ Comentarios del grupo de trabajo; ² Comentarios del grupo de trabajo; ³ Comentarios del grupo de trabajo
^a, ^b o ^c hacen referencia a los tratamientos de agua residual mencionados en la misma línea en la última columna de la tabla

Tabla 6.10. Niveles de concentración de contaminantes medidos en el agua residual después del tratamiento en varias plantas de Europa

Planta de ejemplo	Volumen de agua residual tratada m ³ /t ⁱ	Tipo de descarga en el agua receptor I: indirecto D: directo	DBO ₅ g/t ⁱ (mg/l)	DQO g/t ⁱ (mg/l)	COT g/t ⁱ (mg/l)	SST g/t ⁱ (mg/l)	Al	Cd g/t ⁱ (mg/l)	Cr _{total} g/t ⁱ (mg/l)	Cloruros g/t ⁱ (mg/l)	Cu g/t ⁱ (mg/l)	NO ₃ -N g/t ⁱ (mg/l)	Pb g/t ⁱ (mg/l)	Sb g/t ⁱ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ g/t ⁱ (mg/l)	Zn g/t ⁱ (mg/l)
A ^{1a}	27	I														
B ^{1b}																
C ¹		D	(30)													
E ¹																
F y G ²																
H ³																

Los valores indicados en la tabla son valores medios anuales. Cuando se generan Bi, V o W, se reducen a valores por debajo de 1 mg/l.

¹ Comentarios del grupo de trabajo; ² Comentarios del grupo de trabajo; ³ Comentarios del grupo de trabajo: ⁱ De productos de pigmento acabados; ^a Datos de descarga después del tratamiento (carga específica, concentración), antes del tratamiento biológico final; ^b Para el cromato de plomo no es viable el reciclado del lodo. Reducción del volumen de las aguas residuales mediante el uso de filtros secos para el tratamiento del gas residual; ^c Cr_{total} después del pretratamiento y antes de la depuradora; ^d Cr(VI) después del pretratamiento y antes de la depuradora

Proceso Laux

El proceso Laux sólo requiere un volumen de ácido catalizador para disolver el hierro. El compuesto aromático de nitrógeno oxida Fe^{2+} en Fe^{3+} . En la formación de los pigmentos insolubles, se genera ácido libre, que se puede reutilizar para disolver el hierro aún más. La demanda de ácido es mucho menor que el volumen estequiométrico. Por lo tanto, la carga de sulfato de <40 kg/t en el efluente acuoso es considerablemente menor que en el caso del proceso de precipitación. Además, la demanda base de la precipitación de hierro procedente del agua residual es bastante menor.

Debido a una concentración de anilina de hasta 3 kg/t de producto acabado, el lixiviado se envía a una depuradora biológica después de la precipitación. Además, el efluente está cargado con amoníaco, que también se tiene que eliminar en la planta de tratamiento biológico. El agua residual de la depuradora central se descarga después de la separación de los materiales sólidos (anilina <0,2 kg/t de producto acabado).

6.1.3.1.3.2. *Pigmentos de óxido de cromo (III)*

La demanda de agua específica es aproximadamente de 60 m³/t de pigmentos producidos. La concentración máxima de sulfato no excede 1200 kg/t. La concentración de cromo total en el agua residual es de <0,02 kg/t de pigmentos producidos.

6.1.3.1.3.3. *Pigmentos inorgánicos complejos*

La fabricación de pigmentos inorgánicos complejos tiene una demanda de agua de hasta 150 m³/t de pigmentos producidos. En el tratamiento de las aguas residuales, el valor medio de los residuos sólidos secos es 40 kg/t de pigmentos producidos.

Las concentraciones máximas de Co, Cr, Cu, Ni, Zn en la salida de la depuradora comunicadas por Alemania, antes de mezclarse con otros caudales, es 0,5 mg/l, excepto para Co que es <1 mg/l. La precipitación y la floculación (por ejemplo, lechada de cal o sosa cáustica) son métodos adecuados que se emplean para cumplir estos requisitos.

6.1.3.1.3.4. *Pigmentos de sulfuro de cinc, sulfato de bario y litopón*

La cantidad media de aguas residuales tratadas se indica en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12. Cantidad media de aguas residuales tratadas en la producción de pigmentos de sulfuro de zinc, sulfato de bario y litopón

Pigmentos producidos	Aguas residuales tratadas por tonelada de producto acabado
Litopón	40 m ³
Sulfuro de zinc	95 m ³
Sulfato de bario	Hasta 80 m ³

Las cifras anteriores pueden variar según las calidades necesarias de los productos acabados.

El agua residual se caracteriza por la concentración de contaminantes, tal y como se indica en la Tabla 6.13.

Tabla 6.13. Contaminantes que contiene el agua residual procedente de la producción de pigmentos de sulfuro de zinc, sulfato de bario y litopón

Contaminantes	Concentración (mg/l)
Bario	<2
Cadmio	<0,01
Sulfuro	<1
Zinc	<2

6.1.3.1.4. Subproductos y residuos

6.1.3.1.4.1. Pigmentos de óxido de hierro

Procesos de precipitación y de Penniman-Zoph

La mayoría de los residuos se generan en la etapa de sedimentación de la depuradora. El volumen de residuos (principalmente lodo de hidróxido) es de 20 a 30 kg de materiales secos por tonelada de pigmentos producidos. Si los residuos no se pueden reciclar directamente en el proceso, se pueden tener en cuenta varias posibilidades:

- Reciclado y uso en el sector del cemento.
- Conversión en pigmentos marrones de hierro por calcinación.
- Eliminación adecuada (por ejemplo, vertedero controlado).

6.1.3.1.4.2. Pigmentos de óxido de cromo (III)

El residuo principal procedente de la producción de pigmentos de óxido de cromo (III) es el hidróxido de cromo que se puede reciclar parcialmente, vender

a otras industrias o eliminar en un vertedero controlado. La cantidad de residuo depende en gran medida de la calidad de producto que requieran los clientes. Los valores máximos comunicados para los materiales eliminados son 80 kg/t de pigmentos producidos.

Los materiales de embalaje (por ejemplo, las bolsas de papel) del material de cromato sin tratar se reciclan térmicamente al 100% (es decir, se incineran): los sacos de papel vacíos no se pueden limpiar para que se reciclen sin que se vea afectado el proceso de reciclaje del papel. Todavía queda material de coloración en las bolsas de papel, lo que colorearía el papel reciclado. No existen motivos toxicológicos para no reciclar el material de embalaje.

6.1.3.1.4.3. *Pigmentos inorgánicos complejos*

Los subproductos se reciclan en la producción. Los residuos que proceden, por ejemplo, de cacetas rotas, materiales de embalaje o residuos de los tratamientos de agua, dependen del tipo de pigmento producido y del proceso de producción empleado. Los sistemas de recuperación de residuos se emplean donde corresponda.

6.1.3.1.5. *Ruido*

Donde resulte necesario, se emplean medidas técnicas como, por ejemplo, el encapsulamiento de los equipos de proceso.

6.1.3.1.6. *Olores*

Por lo general, los olores no suponen un problema en la producción de pigmentos inorgánicos. En el caso de la producción de sulfuro de cinc y de sulfato de bario, la reacción se controla estrictamente en lo que respecta al valor del pH, por lo que no se genera sulfuro de hidrógeno (malos olores).

6.1.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD

6.1.4.1. USO DE MATERIAS PRIMAS NO CANCERÍGENAS

Descripción

La política interna de la empresa impide el uso de materias primas cancerígenas.

Ventajas medioambientales logradas

- Evita las descargas de efluentes cargados con materiales cancerígenos.
- Salud y seguridad de los trabajadores.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Salud y seguridad de los trabajadores.

Ejemplos de plantas

- COLOROBBIA, Italia.

6.1.4.2. PROCESO DE PENNIMAN-ZOPH PARA FABRICAR PIGMENTOS DE ÓXIDO DE HIERRO AMARILLOS

[1, Ullmann, 2001]

Descripción

Probablemente el proceso de Penniman-Zoph es el método de producción de mayor difusión para los pigmentos de óxido de hierro amarillos. Este método reduce considerablemente la cantidad de sales neutras que se forman como subproductos. Las materias primas son sulfato de hierro (II), solución de hidróxido sódico y virutas de hierro. Si el sulfato contiene cantidades apreciables de impurezas salinas, se deben eliminar mediante precipitación parcial. El hierro no debe contener componentes de aleación. El proceso normalmente consta de dos etapas.

En la primera etapa, los núcleos se preparan mediante la precipitación del sulfato de hierro (II) con álcali (por ejemplo, solución de hidróxido sódico) a 20 – 50 °C con aireación. Según las condiciones, se pueden obtener núcleos amarillos, na-

ranjas o rojos. La suspensión de los núcleos se bombea en recipientes cargados con virutas de hierro y se diluye con agua. Aquí, el proceso se completa mediante la acumulación de hidróxido de óxido u óxido de hierro en los núcleos. El sulfato de hierro (II) residual en la suspensión de los núcleos se oxida a sulfato de hierro (III) mediante chorreo con aire a 75 – 90 °C. A continuación, el sulfato de hierro (III) se hidroliza para formar FeOOH o á-Fe₂O₃. El ácido sulfúrico liberado reacciona con las virutas de hierro para formar sulfato de hierro (II), que también se oxida con el aire. El tiempo de reacción puede variar aproximadamente de dos días a varias semanas, según las condiciones elegidas y el pigmento deseado.

Para la aceleración de la reacción, la temperatura se mantiene estable a unos 80 °C mediante la adición de vapor. La cantidad de aire también se tiene que controlar para minimizar el riesgo de explosiones así como para minimizar las emisiones de calor y gas residual. Una solución para obtener esto es el funcionamiento por encima de la temperatura a la que la presión de vapor del agua es lo suficientemente alta para cubrir la cúpula del reactor.

Al final de la reacción, las impurezas metálicas y las partículas gruesas se eliminan de los sólidos con tamices o hidrociclones; las sales solubles en agua se eliminan mediante lavado. El secado se lleva a cabo con secaderos de bandas o de pulverización y para la trituración se emplean desintegradores o molinos de chorro.

Los pigmentos de óxido de hierro producidos por el proceso de Penniman-Zoph son suaves, tienen buenas propiedades de humectación y una tendencia de flokulación muy baja.

En condiciones adecuadas, el proceso de Penniman-Zoph también se puede utilizar para producir pigmentos rojos directamente. Las virutas de hierro y las partículas gruesas residuales se eliminan del pigmento que, posteriormente, se seca y tritura con desintegradores o molinos de chorro. Estos pigmentos tienen una suavidad insuperable. Normalmente tienen un color más puro que los pigmentos rojos más duros que se producen por calcinación.

Ventajas medioambientales logradas

La principal ventaja de este proceso sobre el de precipitación reside en la pequeña cantidad de álcali y sulfato de hierro (II) que se requiere. Las bases sólo se usan para formar los núcleos y la cantidad relativamente pequeña de sulfato de hierro (II) necesaria inicialmente se renueva de forma continua mediante la disolución del hierro por la reacción con el ácido sulfúrico que libera la hidrólisis. Por lo tanto, el proceso se considera ecológico.

La ventaja del proceso de Penniman-Zoph, en comparación con el proceso de precipitación, es que reduce considerablemente la cantidad de sales neutras (por ejemplo, Na_2SO_4 o NaCl) que se forman como subproductos debido a que el ácido sulfúrico generado por la hidrólisis-oxidación de sulfato de hierro (II) reacciona con las virutas de hierro para producir sulfato de hierro (II).

Documentación de referencia

[1, Ullmann, 2001]

6.1.4.3. REDUCCIÓN DE LOS FLUORUROS Y EL BORO MEDIANTE LAVADO CON CAL

Descripción

La producción de algunos pigmentos (por ejemplo, pigmentos de circón o de silicato de circonio) provoca la presencia de fluoruros (generados en el proceso de calcinación) en las emisiones gaseosas procedentes de los hornos. Para reducirlos, se instalan microdosificadores en la salida de las emisiones gaseosas del horno. La cal ventilada hidratada es el agente reactivo que se incluye en los microdosificadores y se introduce en el flujo de las emisiones gaseosas mediante un tubo Venturi de mezcla situado en la salida de las emisiones gaseosas del horno. La cal hidratada cargada en el sistema no sólo reacciona con los humos ácidos en virtud de la «mezcla» obtenida con el tubo Venturi, sino que también se deposita posteriormente en la superficie exterior de los manguitos de filtro, formando una capa delgada que permite la captura de los contaminantes gaseosos (es decir, fluoruros) que todavía no se han neutralizado y que se fuerzan a pasar por la capa reactiva que se ha formado. La cal hidratada también sirve para reducir el boro.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de fluoruros y boro a la atmósfera.

Efectos cruzados

- Consumo de agente reactivo (por ejemplo, cal).

Datos operativos

En la planta de COLORROBBIA en Italia, la eficacia del sistema de reducción de fluoruros está en el rango de 90 a 98% y los niveles de emisión de fluoruro están en el rango de 0,2 a 2 mg/Nm³.

Aplicabilidad

Aplicable para la producción de pigmentos que generan fluoruros en las emisiones gaseosas procedentes de los hornos.

Impulsores de la implementación

- Regulaciones medioambientales.

Ejemplos de plantas

- COLOROBBIA, Italia.

6.1.4.4. USO DE AGUA DESTILADA PROCEDENTE DEL SISTEMA DE EVAPORACIÓN O CONCENTRACIÓN PARA LAVAR LOS PIGMENTOS

Descripción

El uso de agua destilada procedente de la parte de evaporación/concentración del sistema de aguas residuales permite que se utilice una menor cantidad de agua para el lavado de los pigmentos debido a la elevada potencia de solubilidad del agua destilada.

Ventajas medioambientales logradas

- Menos consumo de agua para lavar los pigmentos.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Datos operativos

- En COLOROBBIA, Italia, se utilizan aproximadamente 6,5 litros de agua por kg de pigmentos producidos.

Impulsores de la implementación

- Regulaciones medioambientales.

Ejemplos de plantas

- COLOROBBIA, Italia.

6.1.4.5. ELIMINACIÓN DEL CROMO DEL AGUA RESIDUAL

Descripción

La oxidación del cromo (III) en cromo (VI) se realiza en la producción de pigmentos de la calcinación a alta temperatura en condiciones alcalinas.

Los compuestos de cromo hexavalentes y trivalentes, cromo (VI) y cromo (III), difieren considerablemente en sus efectos. Los compuestos de cromo (VI) tienen una gran tendencia a cambiarse en cromo (III) durante la expulsión del oxígeno. Por lo tanto, los compuestos de cromo (VI) tienen una gran acción de oxidación y un efecto tóxico en los materiales biológicos. Para seres humanos y animales, así como para plantas, son más de 1000 veces más tóxicos que los compuestos de cromo trivalentes [10, ANFFECC/CERAMICOLOR/EPSOM/VdMi, 1998].

El agua residual cargada con cromo (VI) se trata habitualmente en un proceso de dos etapas.

La primera etapa cambia el cromo (VI) en cromo (III) mediante una reacción de reducción (véase la Sección 4.4.1.2.4) utilizando sulfito (por ejemplo, sulfato de hierro (II), dióxido de azufre, bisulfito sódico o metabisulfito sódico). La eficacia de la reacción depende en gran medida del pH.

La segunda etapa es la adición de hidróxido cálcico para que se produzca la precipitación (véase la Sección 4.4.1.2.1) del hidróxido de cromo. La eficacia de la reacción depende en gran medida del pH y la mayoría de los procesos convencionales funcionan con un pH elevado (>8). El precipitado (lodo) se separa, deshidrata y se envía para su eliminación. La presencia de hierro (II) en la etapa de precipitación/floculación reduce el cromo (VI) en cromo (III).

Ventajas medioambientales logradas

- Menos emisiones de compuestos de cromo (VI) al medio ambiente, que son los compuestos de cromo más tóxicos.
- Minimizar las emisiones de cromo (III) al medio ambiente.

Efectos cruzados

- Consumo de agentes reductores (por ejemplo, dióxido de azufre, bisulfito sódico o metabisulfito sódico).

- Consumo de agentes de precipitación (por ejemplo, hidróxido cálcico).
- Consumo de floculantes.
- Consumo de productos químicos para regular el pH (por ejemplo, H_2SO_4 o NaOH).
- Consumo de electricidad para accionar los agitadores en los depósitos de reacción.

Datos operativos

En dos plantas alemanas, se obtienen las siguientes concentraciones en la salida del tratamiento:

- Cr_{total} : 1 – 2,5 mg/l
- Cr(VI) : <0,1 mg/l.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Ejemplos de plantas

- Dos plantas de Alemania.

6.1.4.6. CONTROL ESTRICTO DEL VALOR DE pH DE LA REACCIÓN

Descripción

En la producción de pigmentos de sulfuro de cinc y de sulfato de bario, la reacción se controla estrictamente en lo que respecta al valor del pH, por lo que no se genera sulfuro de hidrógeno tóxico y que produce mal olor.

Ventajas medioambientales logradas

- Evita la generación de sulfito de hidrógeno que produce mal olor.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general en la producción de pigmentos de sulfuro de cinc y sulfato de bario.

6.1.4.7. RECICLADO DE LOS LODOS DE PRECIPITACIÓN EN LA PROPIA PRODUCCIÓN

Descripción

Los lodos de precipitación (hidróxidos), que se producen por la precipitación del caudal de aguas residuales procedente de la producción de pigmentos de cadmio, litopones, sulfato de bario precipitado, óxido de cromo y pigmentos de óxido de hierro, se reciclan en el proceso de producción.

Ventajas medioambientales logradas

- Minimizar la cantidad de residuos para eliminar.
- Minimizar la cantidad de materias primas empleadas.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

Aplicable con carácter general en la producción de pigmentos de cadmio, litopones, sulfato de bario precipitado, óxido de cromo y pigmentos de óxido de hierro.

6.1.4.8. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON CARGA DE NITRATOS

Descripción

Los flujos cargados de nitratos procedentes de la producción de pigmentos de vanadato de bismuto y cromato de plomo se pueden desnitrificar biológicamente si se emplean fuentes de nutrientes de carbono, tales como soluciones de metanol, etanol o azúcar. En los casos donde los metales (como Zn) interfieren en los procesos biológicos, se eliminan antes del tratamiento biológico para prevenir la contaminación del lodo activado.

Las etapas del tratamiento constan de:

- Equilibrio de caudal.
- Primera etapa de reacción (desnitrificación, de NO_3^- a N_2 , en un tanque agitado donde se añade la fuente de carbono externa).
- Segunda etapa de reacción (degradación de los residuos orgánicos en un tanque agitado mediante la adición de pequeñas cantidades de nitrato).
- Separación (el lodo activado se devuelve a la primera etapa de reacción).

Ventajas medioambientales logradas

- Minimiza la cantidad de nitrato vertida en las aguas receptoras.

Efectos cruzados

- Tratamiento y eliminación de los lodos.

Datos operativos

En una planta de producción de Alemania, los flujos de aguas residuales con elevadas cargas de nitratos se tratan mediante el tratamiento biológico descrito anteriormente. El efluente procedente de este tratamiento biológico se envía a la depuradora central (principalmente para la neutralización y precipitación de los metales pesados). En la salida de la depuradora central se ha observado que se han enviado los siguientes niveles de emisión a las aguas receptoras:

- NO_3^- -N: 40000 – 80000 g/t de productos finales; 300 – 680 mg/l (con un volumen de aguas residuales tratado de 100 m³/t de productos finales), tal y como se indica en la Tabla 6.10 en la planta B de ejemplo.

Aplicabilidad

Esta técnica es aplicable a los procesos de precipitación en los que se usan nitratos de metal (por ejemplo, nitrato de plomo o nitrato de bismuto) como precursores.

Impulsores de la implementación

- Prevención de la eutrofización en las aguas receptoras.

Ejemplos de plantas

- Planta de producción de pigmentos SIC en Alemania (véase la planta B de ejemplo en la Tabla 6.10).

6.1.4.9. PRETRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON CARGA DE METALES PESADOS

Descripción

El pretratamiento de las aguas residuales cargadas con metales pesados (por ejemplo, Pb, Sb o Cd) en la producción de pigmentos SIC puede constar de:

- tanque de equilibrado;
- reducción (de cromado), neutralización;
- precipitación, floculación, sedimentación;
- filtración de varias etapas, membranas;
- desecación de lodo mediante prensa de filtro;
- los concentrados (filtrados procedentes de la desecación, reflujo o membranas) se envían a la etapa de neutralización.

Se debe tener en cuenta que el efluente procedente del pretratamiento se dirige a la etapa de neutralización de la depuradora para prevenir que se vuelva a disolver.

Ventajas medioambientales logradas

- Minimiza la cantidad de metales pesados vertida al agua.

Datos operativos

La Tabla 6.14 presenta los niveles de emisión logrados después del pretratamiento y el tratamiento final de las aguas residuales con carga de metales pesados.

Ejemplos de plantas

- Planta de producción de pigmentos SIC en Alemania.

6.1.4.10. TRATAMIENTO FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES CON CARGA DE METALES PESADOS

Descripción

El tratamiento final de las aguas residuales cargadas con metales pesados (por ejemplo, Pb, Sb o Cd) en la producción de pigmentos SIC puede constar de:

- tanque de equilibrado,
- neutralización,
- precipitación, floculación, sedimentación,
- filtración,
- desecación de lodo mediante prensa de filtro,
- los filtrados procedentes de la desecación del lodo y los concentrados procedentes del reflujo se envían a la etapa de neutralización.

Ventajas medioambientales logradas

- Minimiza la cantidad de metales pesados vertida al agua.

Datos operativos

La Tabla 6.14 presenta los niveles de emisión logrados después del pretratamiento y el tratamiento final de las aguas residuales con carga de metales pesados.

Tabla 6.14. Niveles de emisiones logrados después del pretratamiento y el tratamiento final de las aguas residuales con carga de metales pesados

Parámetro	Factor de emisión ¹	Concentración ¹
Pb	20 – 30 g/t	
Cr	5 – 7,5 g/t	
Sb	0,4 – 0,5 kg/t	
DQO		100 mg/l
DBO ₅		30 mg/l
Bi, V, W		Por debajo del límite de detección
Cd	50 g/t	

¹ Valores medios anuales

Ejemplos de plantas

- Planta de producción de pigmentos SIC en Alemania.

6.1.5. Mejores técnicas disponibles

Según la introducción de las MTD del Capítulo 5 y teniendo en cuenta que también se definen las MTD genéricas para el sector de las SIC en el Capítulo 5, esta sección presenta conclusiones específicas de las MTD que pueden aplicarse en general a la producción de especialidades de pigmentos inorgánicos. Por lo tanto, las MTD para la producción de especialidades de pigmentos inorgánicos son la combinación de los elementos genéricos presentados en el Capítulo 5 y los elementos específicos que se indican en esta sección.

Ruta de pantalla para la fabricación de pigmentos de óxido de hierro

En el caso de instalaciones nuevas, constituye una MTD:

- 6.1.1 fabricar pigmentos de óxido mediante el proceso de Penniman-Zoph con el fin de reducir la cantidad de sales neutras que se forman como subproductos (véase la Sección 6.1.4.2).

Cuando se utiliza el proceso de Penniman-Zoph, constituye una MTD:

- 6.1.2 controlar la cantidad de aire en el reactor para minimizar el riesgo de explosiones, la emisión de calor y la cantidad de gases residuales generados (véanse las secciones 6.1.4.2 y 6.1.2.4.1).

Reducción de los materiales auxiliares usados

En la producción de pigmentos de óxido de cromo mediante la reducción del dicromato sódico con azufre, constituye una MTD:

- 6.1.3 utilizar ácido sulfúrico producido mediante la reducción de SO₂ en los gases residuales procedentes del horno para la acidificación del agua residual antes de la reducción del cromato (véase la Sección 6.1.2.5.1).

Reducción de emisiones difusas de polvo

Constituye una MTD:

- 6.1.4 capturar el polvo de las zonas de trabajo (por ejemplo, etapas de pesaje, carga de cajas refractarias o embalaje) y canalizarlo para su reducción (véase la Sección 4.7.6). El polvo capturado se recicla en la producción cuando no hay consecuencias negativas en la calidad del pigmento.

Constituye una MTD:

- 6.1.5 aspirar periódicamente las áreas de trabajo (véase la Sección 4.7.6).

Constituye una MTD:

- 6.1.6 realizar periódicamente operaciones de limpieza (véase la Sección 4.7.6).

Reducción de los gases ácidos y las emisiones de fluoruros a la atmósfera

Constituye una MTD:

- 6.1.7 minimizar la emisión de gases ácidos (por ejemplo, SO_2 , SO_3 , HCl o HF) y fluoruros, por ejemplo, mediante el uso de técnicas de inyección (véanse las secciones 6.1.4.3, 4.4.2.3.1 y 6.1.3.1.2.2).

Reducción de las emisiones totales de polvo a la atmósfera

Constituye una MTD:

- 6.1.8 minimizar la emisión total de polvo procedente de las actividades efectuadas en la instalación y conseguir unos niveles de emisión de $1 - 10 \text{ mg/Nm}^3$ (véase Tabla 6.8) mediante el uso de una o varias de las siguientes técnicas de reducción (véase la Sección 6.1.2.3.1):

- a. ciclón (véase la Sección 4.4.2.1.2)
- b. filtro de tela (véase la Sección 4.4.2.1.5)
- c. lavador húmedo (véase la Sección 4.4.2.1.3). El agua residual generada mediante la operación de lavado se reutiliza como medio de lavado o se recicla
- d. ESP (véase la Sección 4.4.2.1.4).

La parte baja de la gama puede alcanzarse utilizando filtros de tela en combinación con otras técnicas de reducción. No siempre es posible utilizar filtros de tela como, por ejemplo, cuando hay que reducir la presencia de otros contaminantes (por ejemplo, SO_x) o cuando los gases residuales están húmedos (por ejemplo, presencia de ácido líquido).

Elección del sistema de tratamiento de gases residuales

Para reducir el consumo de agua, constituye una MTD:

- 6.1.9 utilizar un sistema de tratamiento por vía seca para tratar los gases residuales procedentes de los hornos de calcinación, excepto cuando se tengan que reducir otros contaminantes, aparte del polvo total (véase la Sección 6.1.3.1.2).

Para garantizar la alta eficacia de reducción de los contaminantes, constituye una MTD:

- 6.1.10 utilizar precipitadores electrostáticos para limpiar los gases residuales de los secaderos en condiciones de humedad y los filtros de bolsa en condiciones de humedad baja (véase la Sección 6.1.2.4.1.1).

Tratamiento de aguas residuales

Constituye una MTD:

- 6.1.11 tratar o tratar previamente el agua contaminada con Cr(VI) y conseguir una concentración de Cr(VI) de <0,1 mg/l (véase la Tabla 6.10) mediante la aplicación de las siguientes medidas antes de enviar el efluente para su tratamiento posterior (véanse las secciones 4.4.1 y 6.1.4.5):
- amortiguación de flujo
 - reducción de Cr(VI) a Cr(III), por ejemplo mediante sulfito, sulfato de hierro(II)

Constituye una MTD:

- 6.1.12 cargar el agua residual cargada con metales pesados y conseguir los niveles de emisión indicados en la Tabla 6.15 antes de efectuar la descarga mediante una combinación de precipitación (véase la Sección 4.4.1.2.1), floculación, sedimentación (véase la Sección 4.4.1.1.1) y la filtración (véase la Sección 4.4.1.1.3). Los residuos de filtración recuperados de la depuración de las aguas residuales pueden reciclarse de nuevo en la producción (véanse las Secciones 4.4.1, 6.1.2.3.2 y 6.1.3.1.3).

Tabla 6.15. Niveles de emisión asociados a MTD 6.1.12

Contaminante	Factor de emisión ¹ (g/t de producto final)	Concentración ¹ (mg/l)
Cd	50	
Cr _{total}	5 – 10	≤ 0,1
Pb	20 – 40	<0,5

¹ Los datos se ofrecen como medias anuales

En la fabricación de pigmentos de óxido de hierro mediante el proceso Laux, constituye una MTD:

- 6.1.13 utilizar un tratamiento biológico para la reducción de los restos orgánicos en el agua residual (véase la Sección 6.1.2.3.2).

En la fabricación de pigmentos de vanadato de bismuto y cromato de plomo, constituye una MTD:

- 6.1.14 reducir los vertidos de NO₃-N al agua en un 50% mediante el uso del tratamiento de desnitrificación (véase la Sección 6.1.4.8).

Reciclado de residuos de precipitación que contienen pigmentos

En la producción de pigmentos de cadmio, litopones, sulfato de bario precipitado, óxido de cromo y pigmentos de óxido de hierro, constituye una MTD:

6.1.15 reciclar en la producción los residuos de filtración procedentes de las etapas de precipitación del caudal de aguas residuales (véase la Sección 6.1.4.7).

6.1.6. Técnicas emergentes

Las técnicas emergentes no se ven en la industria madura y antigua (histórica) de los pigmentos inorgánicos de Europa.

6.2. Compuestos de fósforo

[1, Ullmann, 2001, 2, Dr. Köppke, 2003, RHODIA, 2000 #4, 3, UNEP, et al., 1989]

En lo que respecta a este documento, los compuestos de fósforo hacen referencia a sustancias de especialidades químicas inorgánicas (SIC) que contienen fósforo. En la sección Ámbito de aplicación del presente documento se define el significado de «especialidad». Los productos químicos inorgánicos que no son especialidades se estudian en el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la producción de grandes volúmenes de productos inorgánicos (sólidos y otros) [24, European IPPC Bureau, 2004] de fosfatos para detergentes, alimentación y piensos así como en el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en las industrias de productos químicos inorgánicos de grandes volúmenes, amoníaco, ácidos y fertilizantes [45, European IPPC Bureau, 2004] para ácido fosfórico y fertilizantes de fósforo.

Los compuestos de fósforo de las SIC, estudiados en este documento, son aquellos que tienen importancia industrial y económica en Europa, en concreto, el **tricloruro de fósforo (PCl_3)**, el **cloruro de fosforilo (POCl_3)** y el **pentacloruro de fósforo (PCl_5)**. El intercambio de información beneficia principalmente a la producción de tricloruro de fósforo y de cloruro de fosforilo ya que sólo hay un productor de pentacloruro de fósforo en Europa. Las producciones de PCl_3 , POCl_3 y PCl_5 están muy relacionadas entre sí, ya que el PCl_3 es la materia de partida para la producción de los otros dos compuestos.

Otros compuestos de fósforo que se podrían considerar sustancias de las SIC se producen en Europa, como pentacloruro de fósforo (P_2S_5) y tricloruro de fósforo (PSCI_3), pero no se estudian específicamente en esta sección debido a sus bajos volúmenes de producción (<1000 toneladas/año por cada sustancia).

6.2.1. Información general

El **tricloruro de fósforo (PCl_3)** es un líquido oleoso claro, sin color o ligeramente amarillento que humea en contacto con el aire húmedo. Tiene un olor penetrante.

te e irritante. El PCl_3 reacciona exotérmicamente con agua para formar ácido fosforoso/fosfónico y ácido clorhídrico, así como gases de fosfina. No es inflamable ni explosivo.

El **cloruro de fosforilo** (POCl_3), también denominado oxicloruro de fósforo, es un líquido incoloro que humea en contacto con el aire y que tiene un olor penetrante. La violenta reacción exotérmica del POCl_3 con agua forma ácido fosfórico y HCl . No es inflamable ni explosivo.

El **pentacloruro de fósforo** (PCl_5) es una masa cristalina de color blanco a amarillo cuando es pura. Humea en contacto con el aire y tiene un olor intenso y penetrante. La sustancia se descompone al calentarse y produce humos tóxicos y corrosivos, incluidos cloruro de hidrógeno y óxidos de fósforo. Reacciona violentamente con agua o con humedad para formar ácido fosfórico y cloruro de hidrógeno.

6.2.1.1. Usos

El **tricloruro de fósforo** (PCl_3) es el compuesto fósforo-halógeno más importante ya que sirve como materia de partida para el ácido de fósforo, el cloruro de ácido alifático, dialquilfosfonato y trialquilfosfonato (empleados en preproductos para pesticidas agrícolas), trialquilfosfonato (empleado como estabilizante para materiales plásticos), ácido fosfónico (empleado como producto químico de tratamiento de aguas), pentacloruro de fósforo, sulfocloruro de fósforo y cloruro de fosforilo.

El **cloruro de fosforilo** (POCl_3) se utiliza principalmente para la fabricación de los ésteres alifáticos y aromáticos del ácido fosfórico que se emplea en plastificantes, líquidos hidráulicos, pesticidas, productos ignífugos y en la fabricación de varios productos farmacéuticos. El cloruro de fosforilo también se utiliza como disolvente en crioscopía [2, Dr. Köppke, 2003, 3, UNEP, et al., 1989].

El **pentacloruro de fósforo** (PCl_5) se emplea principalmente como agente de cloración en química orgánica. También se utiliza en el sector farmacéutico para la fabricación de antibióticos de penicilina y cefalosporina.

Los tres compuestos se pueden utilizar para producir gases nerviosos y su uso está controlado estrictamente según la Convención sobre armas químicas.

6.2.1.2. TOXICIDAD

Al entrar en contacto con la humedad, el **tricloruro de fósforo** se hidroliza en una reacción exotérmica en la que se forman ácido de fósforo/fosfónico y cloruro de hidrógeno. Por lo tanto, es muy irritante para la piel, los ojos y el tracto respi-

piratorio. Se puede producir una corrosión grave de la piel y de las membranas mucosas si entran en contacto con PCl_3 líquido [1, Ullmann, 2001].

El **cloruro de fosforilo** se hidroliza lenta pero exotérmicamente para producir ácido fosfórico y cloruro de hidrógeno. Por lo tanto, el cloruro de fosforilo principalmente tiene una acción irritante, mientras que es posible una penetración profunda en el tracto respiratorio debida a la hidrólisis retardada. A menudo no se perciben molestias al principio; sólo después de un período de latencia de varias horas se producen daños en el tracto respiratorio más profundo. Se pueden producir daños irreversibles por una exposición elevada. Por este motivo, el POCl_3 se considera toxicológicamente como el cloruro de fósforo más peligroso [1, Ullmann, 2001].

Los vapores de pentacloruro de fósforo son igualmente irritantes para las membranas mucosas y el tracto respiratorio [1, Ullmann, 2001].

Estas propiedades exigen disposiciones especiales para la producción, el almacenamiento y la manipulación de PCl_3 , POCl_3 y PCl_5 .

6.2.1.3. EXPLOSIONES Y PELIGROS DE INCENDIO

El tricloruro de fósforo, el cloruro de fosforilo y el pentacloruro de fósforo no arden ni explotan, pero cuando entran en contacto con el agua pueden producir salpicaduras en un área amplia. La reacción violenta de estas sustancias con el agua puede incendiar otros materiales combustibles. Cuando se calientan para descomponerlas, emiten humos tóxicos. Durante un incendio, los contenedores se deben mantener fríos con pulverización de agua pero sólo si no hay riesgo de contacto entre el producto y el agua.

En situaciones de emergencia se debe utilizar un equipo autónomo de respiración, con regulador de oxígeno a demanda, así como una indumentaria con resistencia total a las sustancias químicas. Los bomberos deben utilizar respiradores de aire comprimido. En el caso de incendios mixtos, si no hay riesgo de contacto entre el tricloruro de fósforo, el cloruro de fosforilo o el pentacloruro de fósforo y el medio para combatir el fuego, este último se podrá seleccionar según las demás sustancias químicas que intervengan. De lo contrario, se debe usar espuma seca o gases inertes (por ejemplo, argón) como medio para combatir el fuego.

6.2.1.4. PRODUCCIÓN DE COMPUESTOS DE FÓSFORO EN EUROPA Y TODO EL MUNDO

En 2005 en Europa, seis empresas en seis emplazamientos (tres en Alemania, una en Francia, una en Polonia y una en Reino Unido) produjeron tricloruro de fósforo, cloruro de fosforilo y pentacloruro de fósforo, cada una con una producción anual de 10.000 y 95.000 toneladas de estos productos.

La capacidad de producción estimada en 2002 de **tricloruro de fósforo** en Europa Occidental y EE.UU. ascendió a 600.000 toneladas (20.000 toneladas en Japón). En 2002 se estimó una capacidad de producción mundial superior a las 900.000 toneladas. La capacidad de producción estimada en 2002 de **oxicloruro de fósforo** en Europa Occidental fue de 110.000 toneladas (40.000 toneladas en EE.UU. y 30.000 toneladas en Japón).

6.2.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA EUROPEA DE COMPUESTOS DE FÓSFORO

En Europa, la fabricación de compuestos de fósforo la realizan grandes empresas con más de 250 empleados. La producción se efectúa en instalaciones polivalentes de funcionamiento continuo. La mano de obra dedicada al trabajo en los centros de producción de compuestos de fósforo en estas grandes empresas normalmente es inferior a 60 personas. La producción por lo general se lleva a cabo en instalaciones que forman parte de un complejo industrial mayor en el que se produce el cloro como materia prima.

6.2.1.6. ECONOMÍA

La compra de la materia prima de fósforo elemental representa una inmensa cantidad del coste de producción de PCl_3 y, por lo tanto, de los derivados de POCl_3 y PCl_5 . En Europa sólo hay un productor de fósforo elemental.

La competencia en Europa es intensa debido a la presencia de un total de seis productores de compuestos de fósforo (cuatro grandes y dos pequeños). Además, los productores europeos están expuestos a la competencia de los productores indios y chinos, pero sólo hasta cierto punto debido a los elevados costes de transporte. Los principales mercados de los compuestos de fósforo son la agricultura y la fabricación de productos ignífugos. El índice de crecimiento de estos dos mercados es moderado (del 2 al 4% anual). Debido a los elevados costes de transporte, los productores europeos sirven principalmente a los mercados europeos y sólo una pequeña parte de los cloruros de fósforo se exportan fuera de Europa.

6.2.2. Procesos y técnicas aplicados

6.2.2.1. QUÍMICA DE PROCESOS

El **tricloruro de fósforo** se forma mediante la reacción de fósforo elemento con cloro. La reacción es muy exotérmica.



El **cloruro de fosforilo** se obtiene mediante la oxidación del tricloruro de fósforo con aire u oxígeno.



El **pentacloruro de fósforo** se puede preparar mediante la reacción de exceso de cloro con tricloruro de fósforo. La reacción es ligeramente exotérmica.



6.2.2.2. PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Las producciones de PCl_3 , POCl_3 y PCl_5 están muy relacionadas entre sí, ya que el PCl_3 es la materia prima para la producción de los otros dos compuestos. Por este motivo, la producción de los tres compuestos se suele realizar en la misma instalación.

6.2.2.2.1. *Producción de PCl_3*

En Europa, el **tricloruro de fósforo** se fabrica mediante dos procesos distintos:

- Proceso de reacción gas-líquido
- Proceso de reacción de fase gaseosa

6.2.2.2.1.1. *Producción de PCl_3 mediante proceso de reacción gas-líquido*

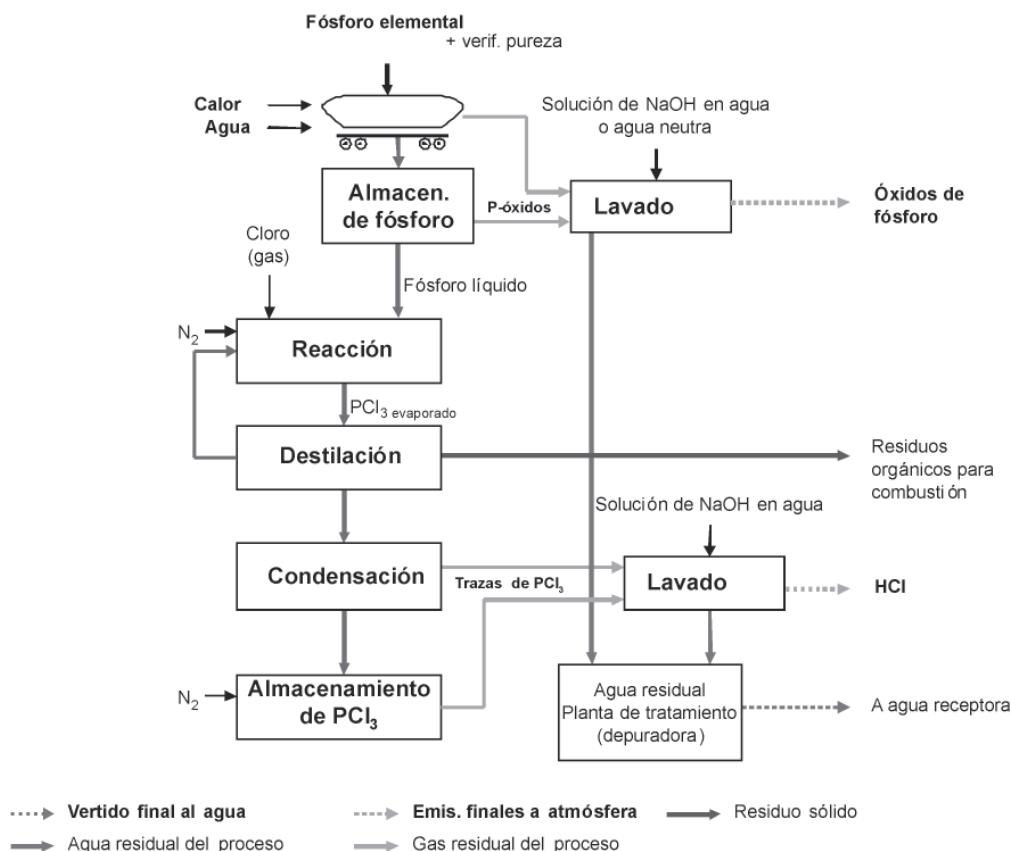
En un proceso continuo típico, el fósforo elemental fundido y el cloro en estado gaseoso se alimentan continuamente en un reactor lleno de tricloruro de fósforo en ebullición (y producido previamente), tal y como se muestra en la Figura 6.10. La reacción es muy exotérmica y el calor se elimina mediante la evaporación de PCl_3 . El rendimiento de la reacción supera el 99,9% con relación al uso de cloro. Se utiliza N_2 para suprimir la humedad y el oxígeno en el reactor con el fin de evitar la formación de POCl_3 no deseado.

La formación del pentacloruro de fósforo se evita con la presencia de un pequeño exceso de fósforo elemental. El calor de la reacción, unas diez veces el calor de la evaporación, mantiene el sistema en su punto de ebullición y se destila el tricloruro de fósforo. Los vapores se fraccionan a medida que se produce el reflujo y el PCl_3 se condensa a 75,5 °C en condensadores refrigerados por aire o agua. El índice de eliminación de PCl_3 (es decir, el índice de producción) equivale al índice de alimentación de fósforo y cloro. El proceso se controla mediante

la temperatura de ebullición que se determina en función del contenido de tricloruro de fósforo. El caudal de cloro se fija y el índice de alimentación de fósforo se ajusta manualmente. El tricloruro de fósforo producido no contiene fósforo libre y no necesita tratamiento posterior [1, Ullmann, 2001, 2, Dr. Köppke, 2003].

Las impurezas orgánicas del fósforo empleado permanecen en el reactor y se eliminan periódicamente, es decir, el tricloruro de fósforo se elimina por completo mediante destilación y la masa alquitranada restante se elimina como residuo y se envía a una instalación de tratamiento de residuos adecuada. El volumen de los residuos orgánicos depende considerablemente de la pureza de la materia prima de fósforo.

Figura 6.10. Producción de tricloruro de fósforo mediante el proceso de reacción gas-líquido

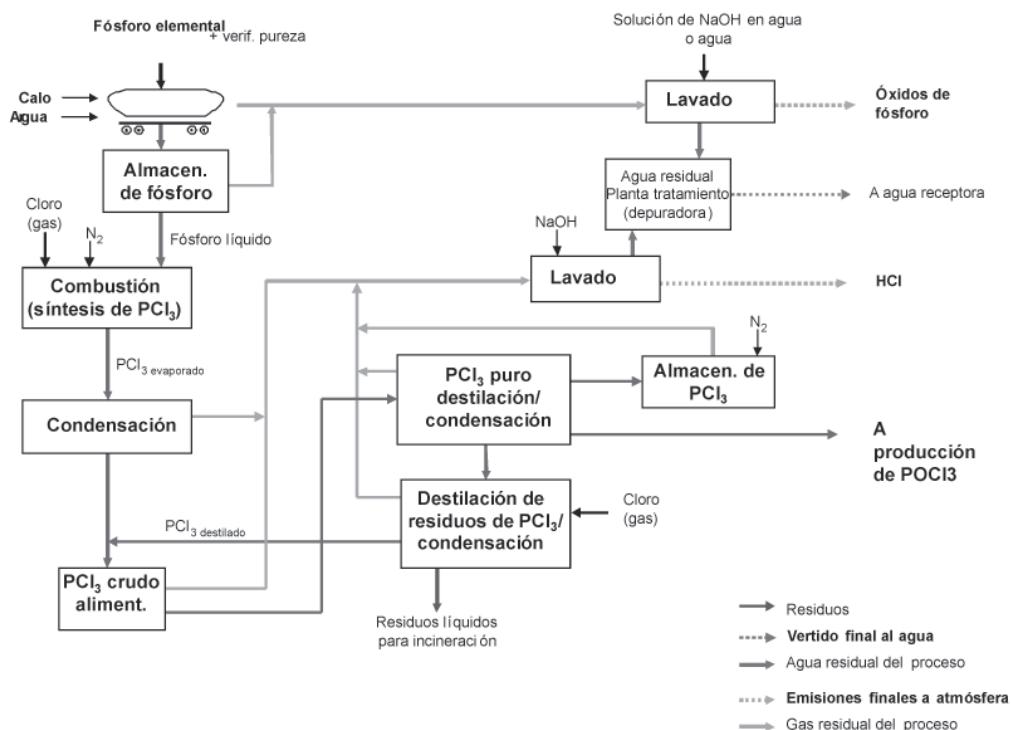


6.2.2.2.1.2. Producción de PCl_3 mediante proceso de reacción de fase gaseosa

En otro proceso (Figura 6.11), el fósforo y el cloro gaseoso reaccionan en una cámara de combustión para formar tricloruro de fósforo a unos 1.800 °C. El rendimiento de la reacción es superior al 99,5%, en relación con el uso de fósforo (que equivale al 99,9% de rendimiento en relación con el uso de cloro) y según la pureza de la materia prima de fósforo elemental blanco/amarillo (en la materia prima de fósforo se pueden encontrar impurezas como arsénico y antimonio, así como constituyentes orgánicos). Se utiliza N_2 para suprimir la humedad y el oxígeno en la cámara de combustión con el fin de evitar la formación de POCl_3 no deseado.

El PCl_3 bruto pasa por dos etapas de destilación/condensación. La primera etapa se utiliza para separar el PCl_3 puro de los subproductos, como cloruros orgánicos. Los subproductos se envían a la segunda etapa de destilación/condensación. El PCl_3 destilado se recicla en el proceso y los residuos líquidos se recogen y envían para incinerarlos.

Figura 6.11. Producción de tricloruro de fósforo mediante reacción de fase gaseosa

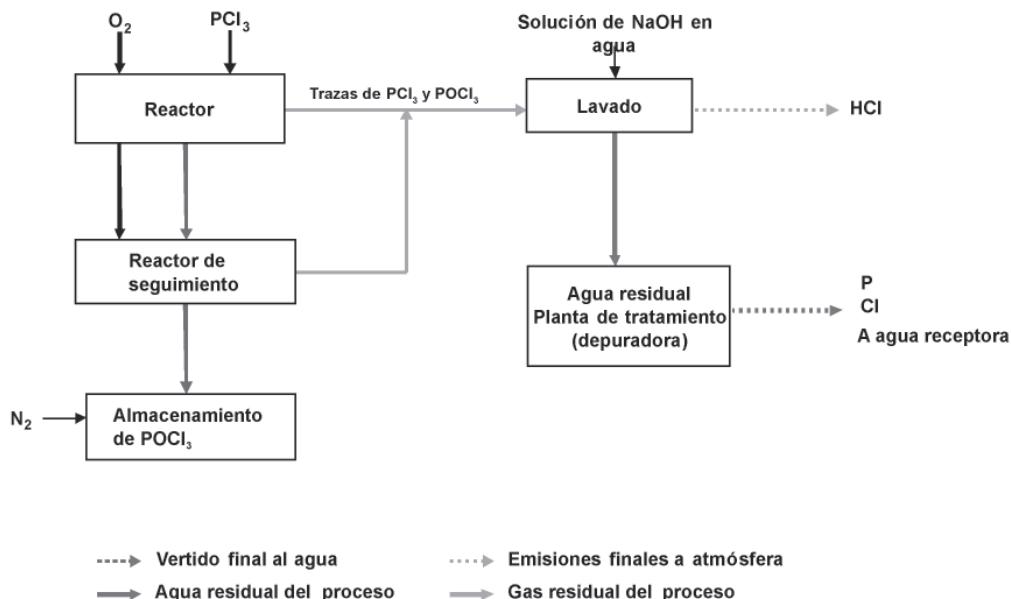


6.2.2.2.2. Producción de POCl_3

El **cloruro de fosforilo** puede fabricarse por lotes o en un proceso continuo [1, Ullmann, 2001].

En la producción industrial, el cloruro de fosforilo se fabrica mediante un proceso de funcionamiento continuo en dos reactores conectados por una línea, tal y como se muestra en la Figura 6.12. El O_2 necesario para convertir el PCl_3 en POCl_3 se conduce primero en contracorriente al reactor siguiente. La parte sin reaccionar del O_2 se alimenta a continuación en el reactor, de modo que todo el O_2 aportado al proceso reacciona. El rendimiento de la reacción supera el 99,9% con relación al uso de PCl_3 . La presencia de impurezas en la materia prima del PCl_3 , como el cobre y el cobalto o de los compuestos de azufre, reduce el porcentaje de reacción. El producto de la reacción puede destilarse en fracciones para mayor purificación [1, Ullmann, 2001, 2, Dr. Köppke, 2003].

Figura 6.12. Producción de cloruro de fosforilo



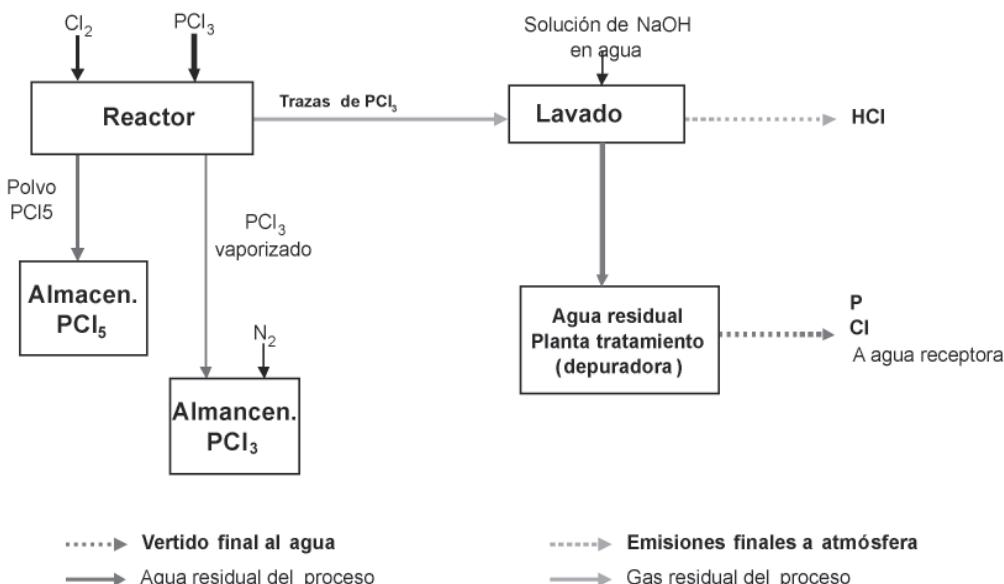
Los gases residuales que salen de los reactores contienen restos de PCl_3 y POCl_3 . Antes de descargarlos a la atmósfera se conducen a través de un lavador alcalino o neutro. El agua de lavado procedente del lavador de gases se envía a una planta de tratamiento de aguas residuales con tratamiento biológico [2, Dr. Köppke, 2003].

6.2.2.2.3. Producción de PCl_5

El **pentacloruro de fósforo** puede fabricarse de manera industrial haciendo reaccionar tricloruro de fósforo con cloro, como se muestra en la Figura 6.13. El calor latente de la evaporación de PCl_3 y la refrigeración indirecta del reactor eliminan el calor de la reacción. La conversión tiene lugar hasta llegar al punto en el que todo el PCl_3 haya reaccionado. El pentacloruro de fósforo se descarga del reactor como un polvo cristalino fino de color amarillo. El PCl_3 vaporizado se recupera y puede reciclarse incluyéndolo de nuevo en el proceso de producción.

Los gases residuales que salen de los reactores contienen restos de PCl_3 . Antes de descargarlos a la atmósfera se conducen a través de un lavador alcalino. El agua de lavado procedente de este proceso se envía a una planta de tratamiento de aguas residuales con tratamiento biológico.

Figura 6.13. Producción de pentacloruro de fósforo



6.2.2.3. ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Para la producción del PCl_3 , el fósforo elemental blanco o amarillo llega en forma sólida a la instalación, en vagones de 50 toneladas o en contenedores-tanque ISO de 25 toneladas.

El fósforo elemental se calienta con vapor mientras se encuentra en el vagón (el proceso de calentamiento dura aproximadamente seis horas) y se transfiere en forma líquida a los tanques de almacenamiento. En los tanques de almacenamiento, encima del fósforo elemental líquido, se mantiene permanentemente una manta de agua para evitar el contacto con el aire (el fósforo elemental blanco o amarillo se enciende espontáneamente cuando entra en contacto con el aire). Los tanques de almacenamiento se mantienen a una temperatura de aproximadamente 60 °C para garantizar que el fósforo elemental permanezca en forma líquida.

Normalmente, el cloro se produce en una planta cercana ubicada en las instalaciones del complejo químico y se conduce por tuberías en forma gaseosa a la planta de producción de fósforo. Si no se produce cerca, el cloro puede transportarse por carretera o ferrocarril a la planta de producción de fósforo.

El PCl_3 y el O_2 son las materias primas utilizadas para la producción de POCl_3 . El PCl_3 procede del parque de almacenamiento de la instalación de fósforo y el O_2 se proporciona como servicio general del complejo químico.

Las materias primas para producir el PCl_5 son el PCl_3 y el cloro. El PCl_3 procede del parque de almacenamiento y el cloro lo proporciona una planta cercana o se transporta por carretera o ferrocarril a la planta de producción de fósforo.

El NaOH es el único agente químico auxiliar utilizado en la producción de cloruro de fósforo. Se usa en los lavadores de gases necesarios para reducir la presencia de contaminantes en los gases residuales.

6.2.2.4. ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE PRODUCTOS ACABADO

El almacenamiento de PCl_3 y POCl_3 líquidos hace necesario mantener una atmósfera de N_2 en la parte superior de los tanques. El PCl_3 y el POCl_3 líquidos se bombean desde los tanques de almacenamiento a bidones de acero o contenedores para transporte por carretera o ferrocarril para la entrega a los clientes.

6.2.2.5. MATERIALES UTILIZADOS PARA EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

El equipo de producción está fabricado en acero inoxidable, níquel o aleaciones de níquel (reactores) e hierro esmaltado o revestido de plástico (zona de destilación).

6.2.3. Niveles de consumo y emisión

Los consumos y las emisiones en la producción de compuestos de fósforo se representan en la Figura 6.10, la Figura 6.11, la Figura 6.12 y la Figura 6.13.

6.2.3.1. CONSUMO DE ENERGÍA

Tricloruro de fósforo: la reacción es muy exotérmica. La descarga térmica se lleva a cabo mediante enfriamiento por aire. Sólo se requiere energía para ventilar el sistema de refrigeración. La demanda de energía depende significativamente del volumen de producción, el tipo de sistema de refrigeración y la temperatura exterior.

6.2.3.2. CONSUMO DE AGUA

En la producción de compuestos de fósforo el agua se utiliza para:

- Lavado de los gases residuales en lavadores.
- Limpieza de equipos.
- Refrigeración de equipos.

6.2.3.3. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

HCl es el principal contaminante que se emite a la atmósfera en la producción de compuestos de fósforo.

La mayoría de las plantas de cloruro de fósforo producen más de un compuesto de fósforo pero disponen de un tratamiento combinado de gases residuales. Es, por lo tanto, difícil determinar el caudal de gas residual y realizar la monitorización de las emisiones a la atmósfera correspondientes a la producción de cada uno de los compuestos de fósforo.

En la producción de **tricloruro de fósforo** (Figura 6.10 y Figura 6.11), el gas residual procede del reactor y contiene restos de PCl_3 , cuya presencia se reduce en un lavador de gases. El volumen de gas residual es muy pequeño ($40 - 100 \text{ m}^3/\text{día}$; estimado como parte del caudal de gas residual total de la planta). Las emisiones finales a la atmósfera contienen restos de HCl. Los gases evacuados de los vagones y el almacenamiento del fósforo elemental deben conducirse a un lavador para eliminar los restos de óxidos de fósforo.

En la producción de **cloruro de fosforilo** (Figura 6.12), el gas residual procede de los reactores y contiene restos de PCl_3 y POCl_3 . El gas residual se conduce a un lavador alcalino para reducir la presencia de contaminantes. Las emisiones finales a la atmósfera contienen restos de HCl.

En la producción de **pentacloruro de fósforo** (Figura 6.13), el gas residual procede del reactor y contiene restos de PCl_3 . Se reduce en un lavador alcalino. Las emisiones finales a la atmósfera contienen restos de HCl.

Las emisiones de HCl en las tres plantas alemanas se hallan en la gama de 3 – 15 mg/Nm³ lo que corresponde a la gama de emisiones observadas durante condiciones de funcionamiento normales en régimen estable. Hay que tener presente que la gama indicada tiene en cuenta que el perfil de emisiones no es constante y no procede de una sola línea de producción, sino que consiste en las emisiones sumadas de dos o cuatro líneas de producción paralelas diferentes. Algunas de estas líneas producen sustancias distintas de PCl₃, POCl₃ y PCl₅.

6.2.3.4. VERTIDOS AL AGUA

En la producción de **tricloruro de fósforo** (Figura 6.10 y Figura 6.11), el agua residual procedente del lavado del gas residual se conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales con tratamiento biológico. El agua residual se caracteriza por una carga de contaminantes de compuestos de cloruro (orgánico) y fósforo. El tipo de contaminante se origina a partir de las diferentes condiciones de lavado (neutro o alcalino). Las condiciones de lavado neutro generan cargas de ácido fosforoso/fosfónico (H₃PO₃) y de HCl en el agua residual. En el lavador neutro tiene lugar la siguiente reacción:



En condiciones alcalinas se producen fosfato sódico (Na₃HPO₃)/hipofosfito de sodio monohidrato (Na₂HPO₃·H₂O) y NaCl. Las concentraciones de los contaminantes mencionados arriba dependen de los volúmenes de agua de lavado y del tipo de proceso de lavado, y pueden ser muy diversas. En un lavador alcalino tienen lugar las siguientes reacciones:



En la producción de **cloruro de fosforilo** (Figura 6.12), el agua residual procedente del lavado alcalino del gas residual se conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales con tratamiento biológico.

En la producción de **pentacloruro de fósforo** (Figura 6.13), el agua de lavado procedente del lavado del gas residual se conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales con tratamiento biológico.

El volumen total de agua residual, procedente de la producción de compuestos de fósforo, varía mucho de un productor a otro y se registran cantidades de <10 m³/t del fósforo elemental utilizado.

La carga de contaminantes en el total de agua residual se registra en los siguientes términos:

- 0,5 – 2 kg P/t de fósforo elemental
- 5 – 10 kg Cl/t de fósforo elemental.

Como se describe en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003], el Cl pasa normalmente inalterado a través de la planta de tratamiento de aguas residuales; el exceso de fosfatos, mientras no se utilice y se consuma como bacterias en la depuradora con tratamiento biológico, suele eliminarse por precipitación (mediante sales de hierro o aluminio) en función de la cantidad existente, de modo que la eliminación de fósforo es muy eficaz.

6.2.3.5. RESIDUOS

El fósforo blanco o amarillo (materia prima), utilizado en la producción de **tricloruro de fósforo**, contiene impurezas orgánicas e inorgánicas que se liberan durante el proceso de producción y deben eliminarse como residuos. Este tipo de desechos se genera como residuo de destilación de la producción de PCl_3 . La impureza más importante del fósforo blanco o amarillo (materia prima) es el arsénico, por lo que los residuos de la producción de **tricloruro de fósforo** son peligrosos. La parte de residuos suele representar normalmente un 0,5% del fósforo como materia prima utilizado (por peso), en función fundamentalmente, sin embargo, de la calidad de los recursos de fósforo. Por regla general, los residuos se incineran.

Los desechos (es decir, los residuos de destilación procedentes de la producción de PCl_3) enviados a incinerar se hallan en la gama de 4 – 8 kg/t de fósforo elemental.

En la fabricación de **cloruro de fosforilo** no se producen residuos debido a la gran pureza del PCl_3 como materia prima.

La fabricación de **pentacloruro de fósforo** no genera residuo alguno debido a la gran pureza del PCl_3 como materia prima.

6.2.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD

6.2.4.1. USO DE AGUA CONDENSADA CALIENTE PARA FUNDIR FÓSFORO ELEMENTAL Y MANTENERLO EN FORMA LÍQUIDA

Descripción

El fósforo elemental blanco o amarillo que llega al emplazamiento en forma sólida necesita fundirse (el punto de fusión del fósforo es de 44,1 °C) para que reaccione con el cloro y forme PCl_3 . La energía necesaria para fundir el fósforo

puede proporcionarse utilizando agua condensada caliente procedente de otras partes del proceso, lo cual reduce el uso de agua dulce y el consumo de energía.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción del consumo de energía.
- Reducción de las emisiones a la atmósfera (el calentamiento del agua genera emisiones indirectas).
- Reducción del consumo de agua.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Por regla general, se puede aplicar si hay agua condensada disponible en la instalación o cerca de ella.

Economía

- Costes muy bajos.

Ejemplos de plantas

- Planta de cloruro de fósforo LANXESS de Leverkusen, Alemania.

6.2.4.2. USO DE UN GAS INERTE (NORMALMENTE N₂) PARA PROTEGER EL FÓSFORO ELEMENTAL COMO MATERIA PRIMA

Descripción

El fósforo elemental es inflamable en contacto con el aire y necesita protegerse con un medio inerte hasta la etapa de reacción. Puede utilizarse un gas inerte (normalmente N₂) con este fin.

Ventajas medioambientales logradas

- Riesgo de incendio reducido.

Efectos cruzados

- Generación de gases residuales liberados al medio ambiente.

Impulsores de la implementación

Por motivos de seguridad, el fósforo elemental, que es inflamable en contacto con el aire, necesita protegerse con un medio inerte.

6.2.4.3. USO DEL AGUA PARA PROTEGER EL FÓSFORO ELEMENTAL Y RECICLADO DEL AGUA PARA EL LAVADO DE GASES RESIDUALES

Descripción

El fósforo es inflamable en contacto con el aire y necesita protegerse con un medio inerte hasta la etapa de reacción. Puede utilizarse agua con este fin. Antes de liberarla a la planta de tratamiento de aguas residuales, el agua puede utilizarse, además, para lavar los gases residuales (que contienen óxidos de fósforo) generados durante la descarga y el almacenamiento del fósforo elemental.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de los riesgos de incendio.
- Reducción del volumen de agua utilizado en el lavado de gas residual.

Efectos cruzados

- Generación de aguas residuales.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Motivos de seguridad.

Ejemplos de plantas

- Planta de cloruro de fósforo LANXESS de Leverkusen, Alemania.

6.2.4.4. USO DE FÓSFORO ELEMENTAL CON POCAS IMPUREZAS ORGÁNICAS E INORGÁNICAS

Descripción

El fósforo blanco o amarillo (materia prima) utilizado en la producción de tricloruro de fósforo contiene impurezas que se liberan durante el proceso de producción y deben eliminarse como residuos.

El uso de fósforo elemental blanco o amarillo con bajo contenido de impurezas permite reducir la cantidad de residuos generados en el proceso de producción.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la cantidad de residuos generados durante el proceso.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Reducción de los costes de tratamiento de residuos.

Ejemplos de plantas

- Thermphos, Alemania.

6.2.4.5. USO DE LAVADO NEUTRO PARA LA REDUCCIÓN DEL PCl_3 Y LOS ÓXIDOS DE FÓSFORO EN LOS GASES RESIDUALES

Descripción

Los gases residuales se limpian por medio de lavadores de gases neutros.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de PCl_3 (HCl) y P_2O_5 (H_3PO_4) a la atmósfera.

Efectos cruzados

- Generación de HCl(NaCl)/H₃PO₄(Na₃PO₄) en el agua residual.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Ejemplos de plantas

- Thermphos, Alemania.
- LANXESS, Alemania.

6.2.4.6. USO DEL LAVADO ALCALINO PARA LA REDUCCIÓN DEL PCl₃ EN LOS GASES RESIDUALES

Descripción

Los gases residuales se limpian por medio de lavadores de gases alcalinos.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de PCl₃ (HCl) y P₂O₅ (H₃PO₄) a la atmósfera.

Efectos cruzados

- Generación de HCl(NaCl)/H₃PO₄(Na₃PO₄) en el agua residual.
- Consumo de hidróxido sódico (NaOH).

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Ejemplos de plantas

- Thermphos, Alemania.

6.2.4.7. USO DE SISTEMAS TOTALMENTE CERRADOS

Descripción

Puesto que el tricloruro de fósforo, el cloruro de fosforilo y el pentacloruro de fósforo son materiales corrosivos muy reactivos y peligrosos, su manipulación se lleva a cabo en sistemas totalmente cerrados. En todas las tuberías y los equipos se colocan rótulos informativos.

Ventajas medioambientales logradas

- Protección de los trabajadores.
- Reducción de derrames.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Ejemplos de plantas

- Thermphos, Alemania.
- LANXESS, Alemania.

Documentación de referencia

[3, UNEP, et al., 1989]

6.2.4.8. INCINERACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA DESTILACIÓN PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE PCl_3

Ventajas medioambientales logradas

- Recuperación de la energía.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicabilidad general.

Ejemplos de plantas

- Thermphos, Alemania.
- LANXESS, Alemania.

6.2.4.9. MEDIDAS DE ALMACENAMIENTO PARA COMPUESTOS DE FÓSFORO

Descripción

[3, UNEP, et al., 1989]

El tricloruro de fósforo, el cloruro de fosforilo y el pentacloruro de fósforo se almacenan en bidones debidamente sellados y rotulados, o bien en contenedores a granel, en un lugar seco, refrigerado y bien ventilado. Los bidones se manipulan cuidadosamente para evitar perforaciones. Se toman precauciones para evitar el contacto del agua con el material o el embalaje. Los contenedores (cilindros, bombonas) son de acero inoxidable y de plomo con envuelta o camisa de acero, y las cisternas para transporte por carretera están forradas con níquel. Como revestimiento adicional se utilizan resinas fenólicas. El acero de carbono se utiliza para el tricloruro de fósforo pero no para el cloruro de fosforilo.

Ventajas medioambientales logradas

- Protección de los trabajadores.
- Prevención de accidentes.
- Prevención de derrames.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Ejemplos de plantas

- Thermphos, Alemania.
- LANXESS, Alemania.

Documentación de referencia

[3, UNEP, et al., 1989]

6.2.5. Mejores técnicas disponibles

Según la introducción de las MTD del Capítulo 5 y teniendo en cuenta que en ese mismo capítulo también se definen las MTD genéricas para el sector de las SIC, esta sección presenta conclusiones específicas de las MTD que pueden aplicarse en general a la producción de compuestos de fósforo. Por lo tanto, las MTD para la producción de compuestos de fósforo son la combinación de los elementos genéricos presentados en el Capítulo 5 y de los elementos específicos que se indican en la presente sección.

Selección, almacenamiento y manipulación de materias primas

Constituye una MTD:

- 6.2.1 minimizar la cantidad de residuos generados en el proceso mediante el uso de fósforo elemental con bajo contenido de impurezas orgánicas e inorgánicas (véase la Sección 6.2.4.4).

Constituye una MTD:

- 6.2.2 reducir el consumo de energía necesario para fundir el fósforo elemental blanco o amarillo sólido (materia prima) utilizando agua condensada caliente procedente de otras partes del proceso (véase la Sección 6.2.4.1).

Puesto que el fósforo elemental es inflamable en contacto con el aire, constituye una MTD:

- 6.2.3 reducir al mínimo el riesgo de incendio protegiendo el fósforo elemental con un medio inerte hasta la fase de reacción. Ello puede hacerse mediante una de las siguientes técnicas:
- a. Mediante un gas inerte, como N₂ (véase la Sección 6.2.4.2).
 - b. Mediante una manta de agua (véase la Sección 6.2.4.3 más atrás) y el reciclado del agua para el lavado de los gases residuales.

Elección del proceso de producción

En el caso de instalaciones nuevas, constituye una MTD:

- 6.2.4 producir PCl₃ empleando un proceso que permita un rendimiento de la reacción de más del 99,5% con relación al uso de fósforo, lo cual es equivalente a un rendimiento de la reacción de más del 99,9% en relación con el uso de cloro (véanse las secciones 6.2.2.2.1.1 y 6.2.2.2.1.2).

Prevención de accidentes

Constituye una MTD:

- 6.2.5 minimizar los derrames y fugas de materiales corrosivos peligrosos empleando sistemas cerrados totalmente para la producción (véase la Sección 6.2.4.7).

Constituye una MTD:

- 6.2.6 colocar rótulos informativos y de advertencia en todas las tuberías y los equipos (véase la Sección 6.2.4.7).

Emisiones a la atmósfera

Constituye una MTD:

- 6.2.7 reducir las emisiones de HCl a la atmósfera procedentes de la producción de compuestos de fósforo y conseguir unos niveles de emisión de 3 – 15 mg/Nm³ mediante lavado alcalino (véase la Sección 6.2.4.6).

Para reducir al mínimo las emisiones en todas las condiciones de producción, los flujos a través del sistema de lavador y la concentración de álcali en el medio de lavado deben ser suficientemente elevados.

Vertidos al agua

Constituye una MTD:

- 6.2.8 minimizar los vertidos de fósforo y cloruro a las aguas receptoras tratando los efluentes de agua en una depuradora de aguas residuales dotada de tratamiento biológico y alcanzar unos niveles de vertido de fósforo a las aguas receptoras de 0,5 – 2 kg/t de fósforo elemental y unos niveles de vertido de cloro a las aguas receptoras de 5 – 10 kg/t de fósforo elemental (véase la Sección 6.2.3.4).

Residuos

Constituye una MTD:

- 6.2.9 conseguir unos niveles de emisión de residuos de la destilación procedentes de la producción de PCl₃ de 4 – 8 kg/t de fósforo elemental (véase la Sección 6.2.3.5).

Constituye una MTD:

- 6.2.10 incinerar los residuos de la destilación procedentes de la producción de PCl₃ (véase la Sección 6.2.4.8).

6.3. Siliconas

6.3.1. Información general

Las «siliconas» son una variedad especial de polímeros. Aunque su composición es en parte orgánica, las moléculas de silicona se distinguen de las de la mayoría de los polímeros en que el eje de su estructura no contiene carbono – el elemento característico de los compuestos orgánicos – sino que está formado por una cadena de átomos de silicio y de oxígeno alternos modificados por varios grupos orgánicos adheridos a los átomos de silicio. En el caso de las siliconas importantes en la industria, estos grupos suelen ser grupos metilos o fenilos.

El nombre científico de las «siliconas» es poliorganosiloxanos.

Las siliconas tienen muchas propiedades excepcionales. En general, las metil siliconas presentan una mayor estabilidad a temperaturas altas, a la radiación ultravioleta y a la intemperie que los polímeros orgánicos. También por regla general suelen presentar buenas propiedades dieléctricas, así como baja dependencia de la temperatura de sus propiedades físicas.

Se encuentran en el mercado varios miles de productos distintos de silicona y un mismo lugar de producción suele fabricar más de un millar de tales productos.

Las siliconas de las SIC contempladas en este documento se centran en el compuesto de silicona más importante, el polidimetilsiloxano (PDMS). También hay otras siliconas que se consideran importantes que en este documento sólo se mencionan brevemente.

6.3.1.1. Usos

Las siliconas se utilizan en una gran variedad de aplicaciones. Entre ellas se incluyen los sellantes, aislantes eléctricos, lubricantes, elastómeros (por ejemplo, cauchos), revestimientos resistentes al agua o aditivos de lacas, pinturas y productos cosméticos.

Normalmente, la amplia variedad de productos de silicona puede desglosarse en cinco grupos de productos principales:

- Productos intermedios.
- Fluidos.
- Especialidades (adhesivos/abhesivos, emulsiones/antiespumantes, resinas aditivos de pintura para revestimientos, estabilizadores de la espuma, agentes de impregnación, etc.).

- Elastómeros: componentes de caucho para curado en caliente (HCR), caucho de silicona líquida – (LSR), vulcanización a temperatura ambiente (RTV).
- Sellantes.

Desde el punto de vista del uso final, el negocio de las siliconas consiste de miles de micromercados, según la aplicación concreta para la que se usan las siliconas.

6.3.1.2. TOXICOLOGÍA Y ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES PARA EL USO DE SILICONAS

A menos que se especifique lo contrario, la siguiente información procede de la enciclopedia de Ullmann [1, Ullmann, 2001].

La toxicología de las siliconas, especialmente la de los polidimetilsiloxanos (PDMS), se ha estudiado minuciosamente debido a que se utilizan siliconas en medicina y tecnología médica, así como en cosmética.

La inercia de las siliconas frente a animales de sangre caliente se ha demostrado en varios ensayos.

Un grupo de expertos de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera aceptable la ingesta diaria en los seres humanos de 1,5 mg de PDMS por kilo de peso corporal en forma de aditivos.

En cuanto a los polisiloxanos organofuncionales, no pueden excluirse efectos tóxicos debido a la reactividad de los grupos organofuncionales. Los polisiloxanos que contienen grupos de trifluoropropilos forman productos de descomposición tóxicos cuando se calientan a más de 280 °C. Las condiciones de uso tienen en cuenta estas propiedades.

Los siloxanos líquidos y volátiles se introducen en el medio ambiente como consecuencia del uso. El suelo (lodo residual) y los sedimentos son receptores y se encuentran cantidades residuales de siloxanos en estos compartimentos medioambientales. Los siloxanos no tienen efectos peligrosos destacados sobre los organismos del medio ambiente. En última instancia, los siloxanos se degradan en sílice, dióxido de carbono y agua. Por ello se supone que no representan un peligro para el medio ambiente.

Los siloxanos de metilo volátiles con una reactividad fotoquímica insignificante presentan, por lo tanto, una contribución insignificante a la formación de ozono en la troposfera. Sin embargo, los metilclorosilanos utilizados para producir siloxanos de metilo son sustancias que, si se emiten a la atmósfera, contribuyen a la formación de ozono en la troposfera.

6.3.1.3. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La capacidad de producción de siloxanos sin elaborar (por ejemplo, polidimetilsiloxanos o PDMS) en Europa consta en la Tabla 6.16.

Tabla 6.16. Capacidad de producción de siloxanos sin elaborar (por ejemplo, PDMS) en Europa

Ubicación	Capacidad de producción en 2004
Unido	130.000 toneladas de PDMS ¹
Roussillon, Francia	100.000 toneladas de PDMS ¹
Burghausen, Alemania	90.000 toneladas de PDMS ²
Leverkusen, Alemania	75.000 toneladas de PDMS ¹
Nünchritz, Alemania	30.000 toneladas de PDMS ¹

¹ 2002, en *Silicones*, CEH Marketing Research Report, SRI International 2003
² 1999, en *Silicones*, CEH Marketing Research Report, SRI International 2000

6.3.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA EUROPEA DE LA SILICONA

En Europa, cuatro grandes empresas (una produce en dos centros) de más de 250 empleados fabrican siliconas en instalaciones de tamaño medio. La producción se efectúa en instalaciones polivalentes de funcionamiento continuo. La mano de obra dedicada al trabajo en los centros de producción de silicona de estas grandes empresas abarca entre 120 y 200 personas. La producción se lleva a cabo en instalaciones que forman parte de un complejo industrial mayor en el que se produce el cloro como materia prima.

6.3.1.5. ECONOMÍA

En 2002, el mercado global de las siliconas alcanzó la cifra de 8000 millones de euros, lo que corresponde a un volumen de producción ligeramente superior a los dos millones de toneladas. Entre 1995 y 1998, el promedio del índice de crecimiento global de la producción de silicona fue alrededor de un 6%, la mayor parte del cual puede atribuirse al crecimiento en el mercado asiático.

En 2002, las zonas principales de venta de silicona se encontraban en Europa (33%) y en América del Norte (34%).

6.3.2. Procesos y técnicas aplicados

Esta sección se centra en el proceso de producción de metilclorosilanos, ya que son los clorosilanos más importantes de uso industrial en la producción de

siliconas. Los metilclorosilanos representan más de un 90% de la producción total de siliconas [1, Ullmann, 2001].

La producción industrial de silicona tiene su base comercial en la síntesis directa de metilclorosilano por medio de un proceso denominado síntesis de Müller-Rochow que se inventó en 1942. En este proceso, los metilclorosilanos (una mezcla de silanos de la que se derivan los organoclorosilanos más importantes) se sintetizan mediante una reacción de silicio elemental con cloruro de metilo (CH_3Cl) empleando la ayuda de un catalizador de cobre. El CH_3Cl se genera haciendo reaccionar metanol (CH_3OH) con cloruro de hidrógeno (HCl). Los metilclorosilanos se destilan para purificar y separar los componentes principales de la reacción, siendo el más importante el dimetildiclorosilano. La hidrólisis (o metanólisis) de dimetildiclorosilano, seguida de la policondensación conlleva la formación de polímeros de silicona. Las empresas productoras europeas fabrican el PDMS exclusivamente mediante un proceso de hidrólisis. La metanólisis únicamente se menciona aquí por su interés histórico. Otro método utilizado para sintetizar SiCl_4 y HSiCl_3 es la (hidro)cloración de Si. Las principales etapas del proceso son:

- Reacción de HCl o FeSi en reactores de lecho fijo.
- Enfriamiento atemperado o eliminación de sólidos del gas de reacción.
- Evaporación y destilación.

La producción de siliconas puede considerarse un proceso de producción más bien complicado si se compara con otros procesos de producción SIC, ya que implica muchas etapas de proceso (Figura 6.14). Las principales etapas del proceso de producción de siliconas son:

- Síntesis de cloruro de metilo.
- Trituración de silicio.
- Síntesis directa (síntesis de Müller-Rochow).
- Destilación.
- Hidrólisis/condensación o metanólisis.
- Síntesis de polímeros (polimerización de equilibrio o policondensación).

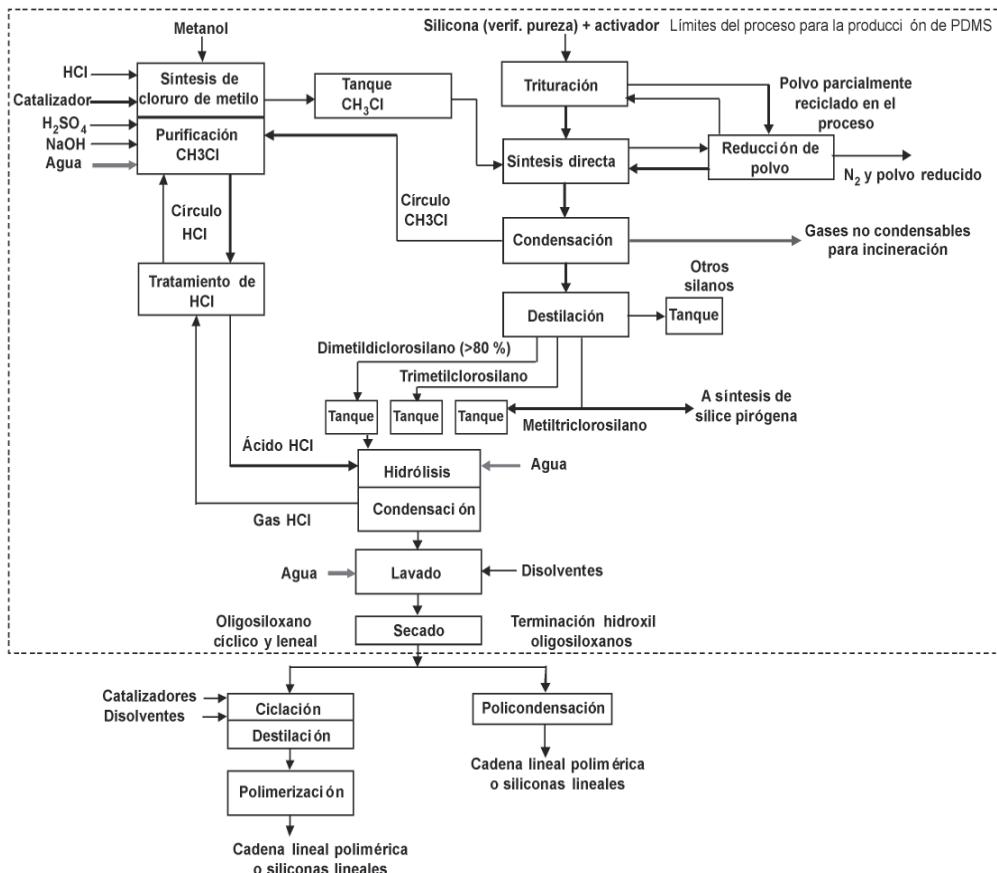
Las primeras cinco etapas del proceso conducen a la formación de **PDMS**, cuyo tratamiento posterior genera miles de productos de silicona en etapas del proceso posteriores.

6.3.2.1. PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES Y SERVICIOS

Se utiliza una serie de productos químicos auxiliares y servicios de apoyo a la producción de siliconas. Éstos pueden incluir:

- Nitrógeno para la inertización de ciertas etapas del proceso y el bombeo de silicio elemental.
- Gas natural y fueloil para la producción de vapor o el calentamiento de aceite térmico, así como para el incinerador de gases de descarga.
- Aceite térmico para transferencia de calor en la síntesis directa.
- Catalizadores para propiciar la reacción.
- Vapor para el calentamiento.
- Electricidad para impulsar el equipo de proceso.
- Líquidos o gases refrigerantes para la criocondensación.
- Agua de refrigeración.
- Ácido sulfúrico.
- Hidróxido de sodio o carbonato de sodio.

Figura 6.14. Etapas del proceso de producción de siliconas



6.3.2.2. ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES

Las principales materias primas para la producción de siliconas son silicio elemental, HCl y metanol. Entre los productos químicos auxiliares utilizados para la producción de siliconas se incluyen los catalizadores (por ejemplo, catalizadores de cobre en la síntesis directa), activadores y disolventes.

El silicio elemental (llamado también metal de silicio) en gránulos de una pureza superior al 98% se transporta por carretera hasta la planta. Los gránulos se descargan en una zona de almacenamiento cubierta o directamente en los silos de almacenamiento. Se utilizan cargadoras o dispositivos de transporte mecánico (por ejemplo, elevadores de cangilones) para transportar el silicio elemental desde la zona de carga al molino. Una vez tamizado para lograr el tamaño adecuado, el silicio elemental se almacena y procesa en un sistema cerrado bajo la acción del nitrógeno.

Las otras materias primas sólidas (por ejemplo, catalizadores) se entregan a la planta en bidones u otras unidades de embalaje pequeñas.

Todos los materiales líquidos empleados en la producción de siloxanos se almacenan en depósitos cerrados y se manipulan mediante sistemas cerrados de tuberías (con inertización del nitrógeno).

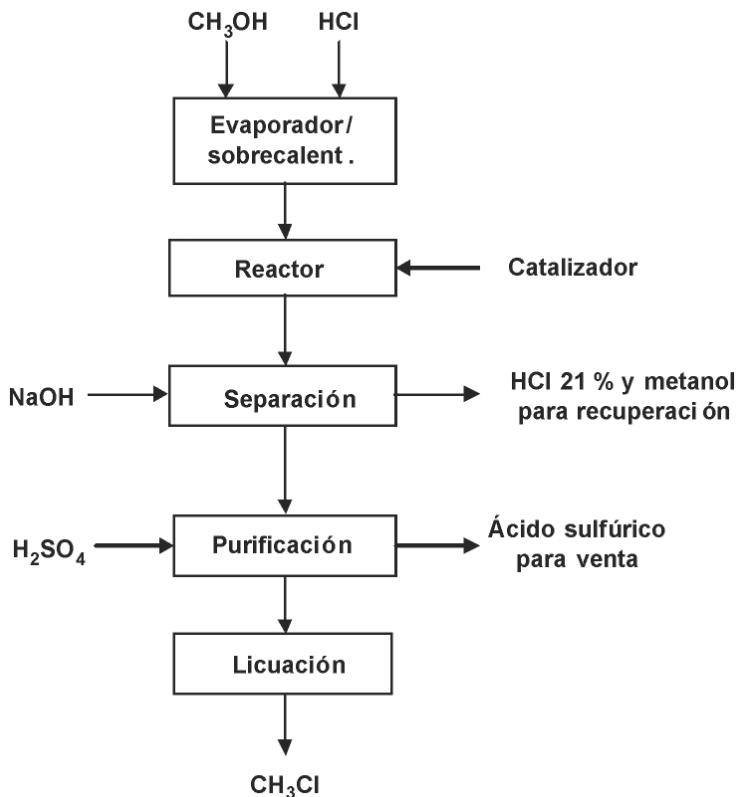
6.3.2.3. SÍNTESIS DE CLORURO DE METILO

El cloruro de metilo (CH_3Cl) se sintetiza a partir de metanol (CH_3OH) y cloruro de hidrógeno (HCl) en fase gaseosa o en fase líquida (Figura 6.15). El catalizador utilizado para propiciar la reacción puede variar de un productor a otro (por ejemplo, Al_2O_3 , ZnCl_2). La temperatura de funcionamiento suele ser entre 150 y 200 °C y el intervalo de presión, entre 2 y 3 bares. El cloruro de hidrógeno utilizado en esta etapa del proceso puede recuperarse parcialmente del proceso de la hidrólisis (véase la Sección 6.3.2.7 siguiente).

En esta reacción, la conversión de metanol es prácticamente completa (98 – 99%). Un subproducto es el éter dimetílico. El cloruro de hidrógeno que no ha reaccionado (1 – 2%) se descarga como ácido clorhídrico junto con el agua de la reacción. El HCl % y, en algunos casos, el metanol sin reaccionar % se recupera y se recicla en el proceso.

Los restos de vapor de ácido clorhídrico, agua y un pequeño volumen de éter dimetílico se absorben en ácido sulfúrico, que puede recuperarse en una planta de recuperación de ácido sulfúrico.

Figura 6.15. Síntesis de cloruro de metilo



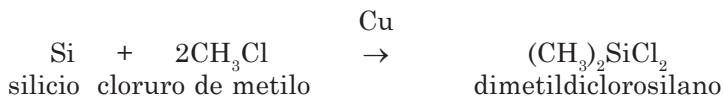
A continuación, el cloruro de metilo se licua por criocondensación y se envía a los depósitos de almacenamiento para que sirva de materia prima de alimentación de la síntesis directa. La criocondensación se ejecuta, por ejemplo, con líquidos o gases refrigerantes. Otra posibilidad es comprimir y licuar el cloruro de metilo por condensación del agua.

6.3.2.4. TRITURACIÓN DE SILICIO

El polvo de silicio es una materia prima esencial en el proceso de producción de siliconas. La tecnología de la operación de síntesis directa determina el tamaño de las partículas de polvo de silicio elemental. Por ello, la unidad de trituración suele incluir un molino y un tamizador para controlar la distribución del tamaño de las partículas. La trituración se lleva a cabo en una atmósfera de bajo contenido en oxígeno o tomando otras medidas técnicas especiales para evitar explosiones.

6.3.2.5. SÍNTESIS DIRECTA

En el proceso de Müller-Rochow, el polvo de silicio elemental reacciona con cloruro de metilo en un reactor de lecho fluidificado (el catalizador principal que se utiliza es cobre) para producir dimetildiclorosilano (el rendimiento típico de la reacción es >78%) según la siguiente ecuación:



Las temperaturas de reacción son normalmente de 280 – 330 °C. Las impurezas que contienen el silicio elemental y los catalizadores utilizados influyen en gran medida en el rendimiento de la reacción química. Los detalles de las especificaciones para el silicio elemental y los catalizadores utilizados son confidenciales.

Los principales subproductos de la reacción son metiltriclorosilano (5 – 12%) y trimetilclorosilano (2 – 4%). Otros subproductos son el hidrógeno metildiclorosilano ($\text{CH}_3\text{HSiCl}_2$), hidrógeno dimetilclorosilano ($(\text{CH}_3)_2\text{HSiCl}$), tetrametilsilano, tetraclorosilano, disilano, trisilano y compuestos sin silicio.

La mezcla de silicio, cobre y otros cocatalizadores (la información detallada acerca de la composición de los catalizadores es confidencial) se alimenta constantemente al reactor de lecho fluidificado junto con el cloruro de metilo sobre calentado (cloruro de metilo líquido que se ha evaporado antes de someterse al sobre calentamiento). El tamaño de las partículas de silicio elemental es de <1 mm, de manera que no tiene lugar la separación del producto ni se producen emisiones considerables del producto.

El gas procedente de la reacción está compuesto por dimetildiclorosilano, subproductos y cloruro de metilo sin reaccionar. Los ciclones o filtros de bolsa separan cualquier tipo de polvo (por ejemplo, el compuesto por una mezcla de silicio, cobre e impurezas del silicio) sacado fuera del reactor, de manera que únicamente las sustancias gaseosas pueden continuar recorriendo el proceso. Los residuos restantes de la separación se reciclan parcialmente en el reactor (Figura 6.14).

Los productos gaseosos, que no contienen polvo, pasan por condensadores con el fin de extraer el cloruro de metilo, que entonces se recicla en el proceso (Figura 6.14). La mayoría de los gases no condensables (principalmente nitrógeno, hidrocarburos ligeros y pequeñas cantidades de cloruro de metilo) se incineran en la planta o externamente.

La etapa de síntesis directa es un productor neto de energía que se recupera y utiliza especialmente en la etapa de destilación.

6.3.2.6. DESTILACIÓN

La mayor parte de los metilclorosilanos obtenidos se destila en varias columnas para recuperar metilclorosilanos de gran pureza, como:

• Dimetildiclorosilano:	78 – 90%
• Metiltriclorosilano:	5 – 12%
• Trimetilclorosilano:	2 – 4%
• Hidrógeno metildiclorosilano:	2 – 5%
• Hidrógeno dimetilclorosilano:	<1%
• Tetrametilsilano:	<1%
• Tetraclorosilano:	<1%.

Debido a los requisitos de extrema pureza, algunas de las separaciones son difíciles y se requieren columnas con un gran número de etapas de separación.

La separación de la mezcla de metilclorosilano consume mucha energía. La diferencia entre los puntos de ebullición de los dos productos principales del proceso directo, dimetildiclorosilano y metiltriclorosilano, es de 4 °C.

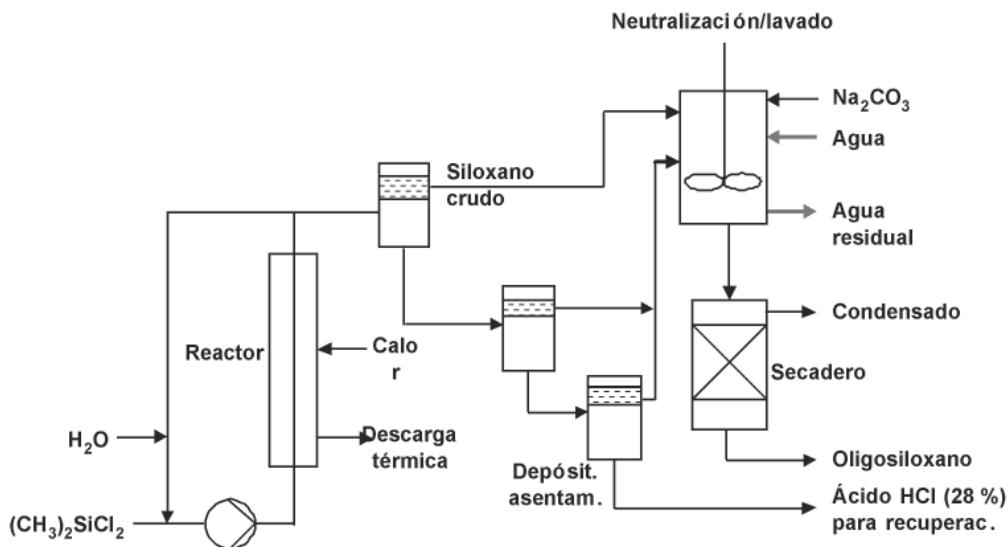
Teniendo en cuenta la naturaleza muy reactiva de los clorosilanos, que se hidrolizan fácilmente en contacto con agua para formar ácido clorhídrico, la reacción se regula y controla rigurosamente y se ha diseñado para garantizar la contención del proceso en condiciones de funcionamiento normales.

6.3.2.7. HIDRÓLISIS/CONDENSACIÓN O METANÓLISIS

Tras分离 los distintos productos y subproductos mediante destilación, el dimetildiclorosilano se hidroliza para producir polidimetsiloxano (PDMS). El átomo de cloro del metilclorosilano se reemplaza por un grupo OH, que constituye la base para las posteriores reacciones de condensación para producir siloxanos de mayor peso molecular.

La hidrólisis completa del dimetildiclorosilano produce una mezcla de oligómeros que consta de dimetsiloxanos cílicos y dimetsiloxanos lineales con terminal hidróxilo.

La hidrólisis completa con agua (o una mezcla de metanol y agua) se lleva a cabo continuamente en la fase líquida con ácido clorhídrico saturado, o bien en la fase gaseosa. La hidrólisis de la fase líquida da como resultado dimetsiloxanos oligoméricos cílicos y lineales (la proporción depende de las condiciones de la hidrólisis). Los siloxanos producidos, que son insolubles en agua, se separan y depuran.

Figura 6.16. Ejemplo de la hidrólisis de dimetildiclorosilano a oligosiloxano

La hidrólisis genera ácido clorhídrico hiperaceotrópico, que se recicla para recuperar HCl. El cloruro de hidrógeno gaseoso que se genera puede utilizarse directamente para la síntesis de cloruro de metilo.

El cloruro de hidrógeno acuoso obtenido en las reacciones de fase líquida puede venderse o recuperarse y reutilizarse en el proceso según su calidad. En la mayoría de los casos, la recuperación sólo es eficiente para volúmenes grandes. La recuperación de cloruro de hidrógeno gaseoso de la hidrólisis de dimetildiclorosilano se integra, por ejemplo, en el proceso de hidrólisis. La recuperación de HCl no es eficiente para pequeños volúmenes de producción. En esos casos, el cloruro de hidrógeno se neutraliza y descarga al sistema de alcantarillado.

6.3.2.8. SÍNTESIS DE POLÍMEROS

En la síntesis de polímeros, el PDMS forma estructuras poliméricas diferentes según las condiciones del proceso. En una determinada planta pueden fabricarse más de 4.000 productos distintos a partir del PDMS sin elaborar.

Los polímeros de silicona pueden sintetizarse de dos maneras según el producto final que se requiera:

- Polimerización de equilibrio.
- Policondensación.

6.3.2.8.1. *Polimerización de equilibrio*

En la reacción de ciclización, la polimerización de equilibrio se utiliza para convertir los dimetilsiloxanos en cadenas de polímeros de polidimetilsiloxano.

Debido a que el proceso de hidrólisis consta tanto de siloxanos lineales como cílicos, la mezcla oligomérica debe destilarse o convertirse por completo en estructuras moleculares cíclicas. Esto puede lograrse calentando la mezcla de la hidrólisis con hidróxido potásico u otros catalizadores en una mezcla de disolventes. Los catalizadores propician una reacción de equilibrio en la que las uniones de Si-O-Si se rompen y se vuelven a formar (ciclización).

Debido a que los dimetilsiloxanos cílicos volátiles se destilan continuamente, el equilibrio se cambia en una dirección que favorece el siloxano cíclico deseado, de manera que toda la mezcla de siloxanos se convierte finalmente en dimetilsiloxano cíclico. Se retienen las impurezas trifuncionales.

A partir de la mezcla de organosiloxanos cílicos simples, se destila octametilciclotetrasiloxano (D_4) ultrapuro, que puede utilizarse para la polimerización. Otros ciclosiloxanos se reciclan en el proceso de equilibración o se colocan en el mercado.

La polimerización de D_4 puede llevarse a cabo de forma aniónica o catiónica. La polimerización aniónica con hidróxido de metal alcalino, especialmente KOH, tiene importancia industrial. En presencia de KOH y agua, los organosiloxanos cílicos se convierten, a través de un producto intermedio, en cadenas de polidimetilsiloxano con terminales de grupo hidróxilo. Tras la neutralización de la mezcla, los ciclosiloxanos restantes se separan por destilación. Pueden añadirse otras materias primas para obtener polímeros funcionales.

La polimerización catiónica de los ciclosiloxanos se realiza con ácidos protónicos fuertes o ácidos de Lewis. Un catalizador de importancia industrial es el ácido sulfúrico.

6.3.2.8.2. *Policondensación*

Mientras que las materias primas para la polimerización de equilibrio son los siloxanos cílicos, la policondensación sólo es posible con oligómeros lineales con terminal hidróxilo. La reacción de policondensación tiene lugar a temperaturas normales en presencia de un catalizador ácido, por ejemplo, cloruro de fosfonitrílico, y concluye mediante neutralización. La policondensación genera un pequeño volumen de agua de reacción que se destila bajo vacío y se descarga como agua residual.

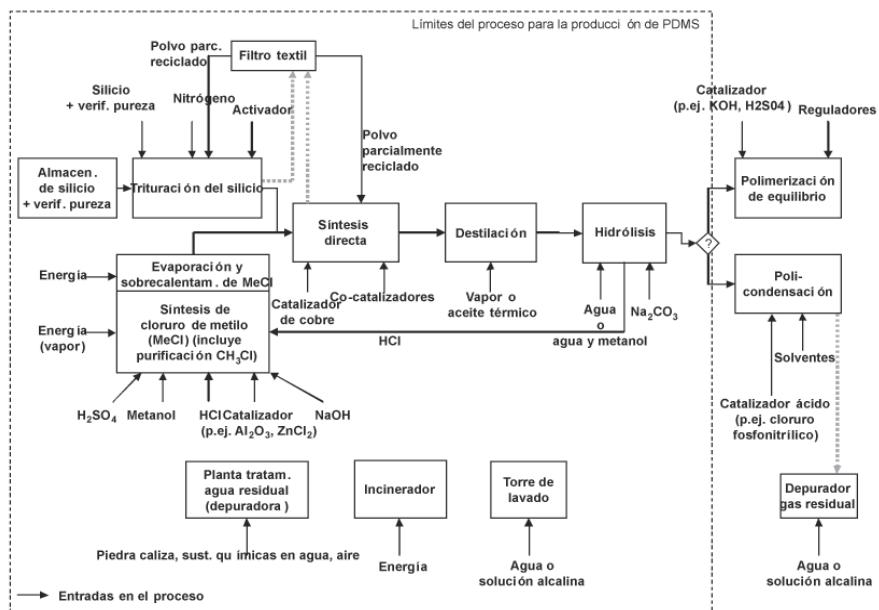
De forma análoga a la fabricación de polisiloxanos lineales a partir de dimetildiclorosilano, también pueden generarse siloxanos ramificados añadiendo unidades trifuncionales y tetrafuncionales. La viscosidad de los polisiloxanos aumenta significativamente a medida que aumenta la ramificación. Por ello, en algunos casos, deben añadirse disolventes para procesar estos fluidos altamente viscosos. Estos disolventes deben recuperarse del proceso de fabricación dentro de lo posible. El tipo de siloxano que se obtiene depende del peso molecular, así como del número de ramificaciones y redes moleculares. Los grupos principales de productos son fluidos de silicona, resinas, elastómeros y emulsiones.

6.3.3. Niveles de consumo y emisión

6.3.3.1. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES, ENERGÍA Y AGUA

El consumo de materias primas, productos químicos auxiliares, energía y agua para la producción de siliconas se representan en la Figura 6.17. Esta figura muestra los límites del proceso de la producción de PDMS. Dentro de estos límites, las etapas de proceso son prácticamente las mismas en todas las plantas de producción europeas. Debido a los diferentes productos de silicona (más de 4.000), la policondensación y la polimerización deben considerarse etapas de proceso por separado que no pueden compararse directamente.

Figura 6.17. Consumo de materias primas, productos químicos auxiliares, energía y agua para la producción de siliconas



6.3.3.1.1. ***Consumo de materias primas y productos químicos auxiliares***

En la síntesis directa, un 85 – 95% de silicium elemental se convierte en monómeros de metilclorosilano, de los cuales un 78 – 90% son dimetildiclorosilanos. La reacción de la hidrólisis es casi cuantitativa. El rendimiento de HCl y metanol es de >94%. El consumo de catalizadores en la síntesis directa representa un 1 – 4% (por peso) del consumo de silicio elemental.

6.3.3.1.2. ***Consumo de energía***

Las fuentes de energía utilizadas para la producción de siliconas son la electricidad, el vapor (1,2 bares, 6 bares, 10 bares y 30 bares) y el gas natural.

La electricidad se emplea para el funcionamiento de bombas, compresores, agitadores y otros motores eléctricos.

La síntesis directa es un productor neto de energía que se recupera y se convierte en vapor utilizado especialmente en la etapa de destilación.

El gas natural se utiliza principalmente para el funcionamiento de las unidades de incineración de gases de descarga.

El consumo de los servicios para la destilación de silanos se optimiza mediante la metodología de mínimos. El consumo de electricidad para la producción de PDMS se sitúa alrededor de 23 – 30 MJ/kg de PDMS. No es posible estimar el consumo de vapor porque éste procede de unidades centrales o se recupera mediante el intercambio térmico interno. Cada emplazamiento de planta dispone de una solución propia única para optimizar el consumo de energía.

6.3.3.1.3. ***Consumo de agua***

En la producción de siliconas el agua se utiliza para:

- Lavado de los gases residuales en lavadores de gases.
- Hidrólisis de dimetildiclorosilano.
- Limpieza de equipos.
- Refrigeración de equipos.
- Lavado de PDMS.

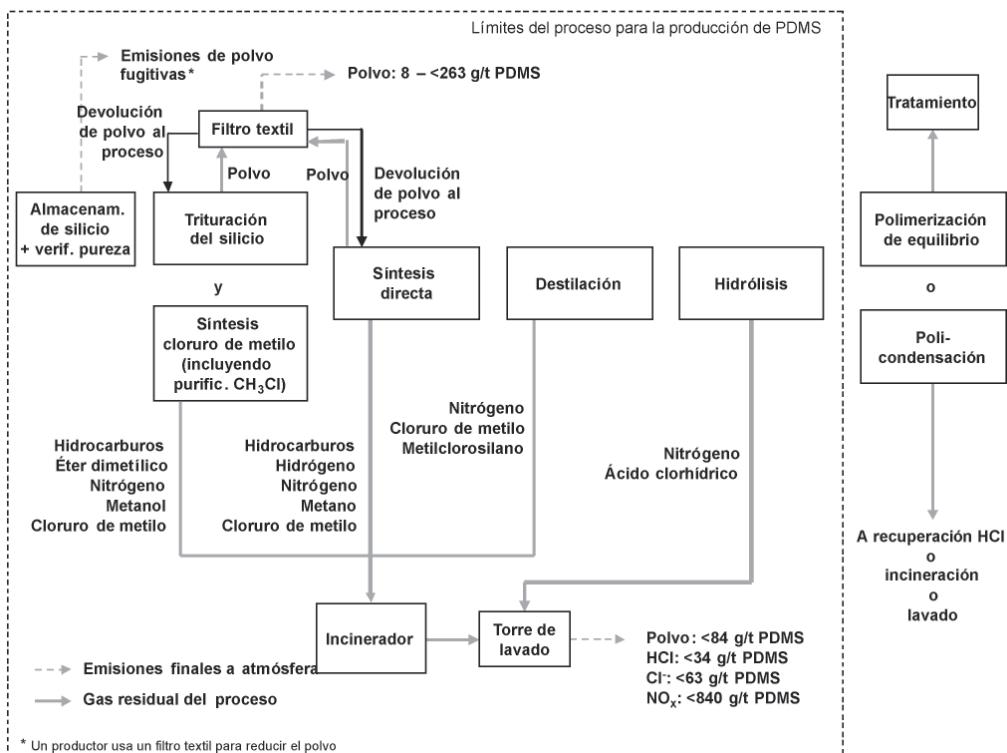
Los volúmenes de agua se miden para todo el proceso de fabricación hasta los productos acabados. Se optimiza el uso del agua.

El consumo específico máximo de agua de proceso se sitúa alrededor de 20 m³/t de PDMS.

6.3.3.2. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

En la Figura 6.18 se muestran las emisiones a la atmósfera procedentes de la producción de siliconas. Los datos específicos proporcionados se refieren a la producción de PDMS que finaliza con la hidrólisis. No se incluyen las etapas del proceso de policondensación y polimerización.

Figura 6.18. Emisiones a la atmósfera procedentes de la producción de siliconas



Las materias primas apiladas (por ejemplo, silicio) pueden ser una fuente de emisiones difusas de polvo.

Gas residual procedente de la trituración, el almacenamiento y la manipulación del silicio elemental. Los flujos de gas residual cargado de polvo procedentes de la trituración, el almacenamiento y la manipulación del silicio elemental se conducen a los filtros de gas residual antes de descargarlos a la atmósfera. La concentración de polvo en los flujos de gas residual tratados suele estar en el intervalo de 8 – <263 g/t de PDMS (que corresponde aproximadamente a un intervalo de 10 – 50 mg/Nm³). La industria prefiere utilizar g/t de PDMS

en lugar de mg/Nm³ porque ofrece resultados comparables; – si se usaran mg/Nm³ los resultados no serían comparables entre los productores de silicona, puesto que se utilizan diversas cantidades de nitrógeno para transportar el silicio elemental). El polvo de silicio elemental filtrado se recicla, por ejemplo, en el proceso de síntesis directa.

Gas residual procedente de la síntesis de cloruro de metilo. El caudal de gas residual procedente de la síntesis de cloruro de metilo y la unidad de purificación de CH₃Cl consiste principalmente en nitrógeno (87 – 89%) y éter dimetílico (10%), cloruro de metilo (1 – 3%), metanol y restos de hidrocarburo. Debido a su composición, el gas residual procedente de la síntesis de cloruro de metilo y de la unidad de purificación de CH₃Cl se trata en una unidad incineradora. Tras la incineración, el gas residual se purifica en una torre de lavado, en algunos casos, en condiciones alcalinas para minimizar las emisiones de polvo y especies cloradas.

Gas residual procedente de la síntesis directa. El caudal de gas residual procedente de la síntesis directa consiste principalmente en nitrógeno (70 – 80%), metano (10 – 20%), hidrógeno (5%), hidrocarburo (1 – 2%) y cloruro de metilo (1%). Debido a su composición, el gas residual procedente de la síntesis directa se conduce a una unidad incineradora.

Gas residual procedente de la destilación. El caudal de gas residual procedente de la etapa de destilación contiene nitrógeno, cloruro de metilo y metilclorosilanos. Debido a su composición, el gas residual se conduce a una unidad incineradora o se lava con agua.

Gas residual procedente de la hidrólisis. El caudal de gas residual procedente del proceso de hidrólisis contiene principalmente nitrógeno y ácido clorhídrico. El caudal de gas residual se trata en una torre de lavado para eliminar el ácido clorhídrico.

Gas residual procedente de la policondensación. La composición y el volumen de los flujos de gas residual procedentes de la etapa de policondensación en la producción de siliconas lineales o ramificadas de gran peso molecular pueden variar significativamente. Dependen del producto final de silicona que se desee, de modo que los tratamientos de gas residual que se indican a continuación son necesarios para minimizar las emisiones:

- Si el gas residual está cargado de HCl y restos de clorosilano, el HCl se recupera y recicla en el proceso.
- Si el gas residual está muy cargado de hidrocarburos (por ejemplo, >5%) y silanos (por ejemplo, >5%), se conduce a una unidad incineradora.
- Los flujos de gas residual con una carga baja de siloxanos e hidrocarburos se conducen a un lavador de gas residual. El agua residual resultante se descarga en una planta de tratamiento de aguas residuales.

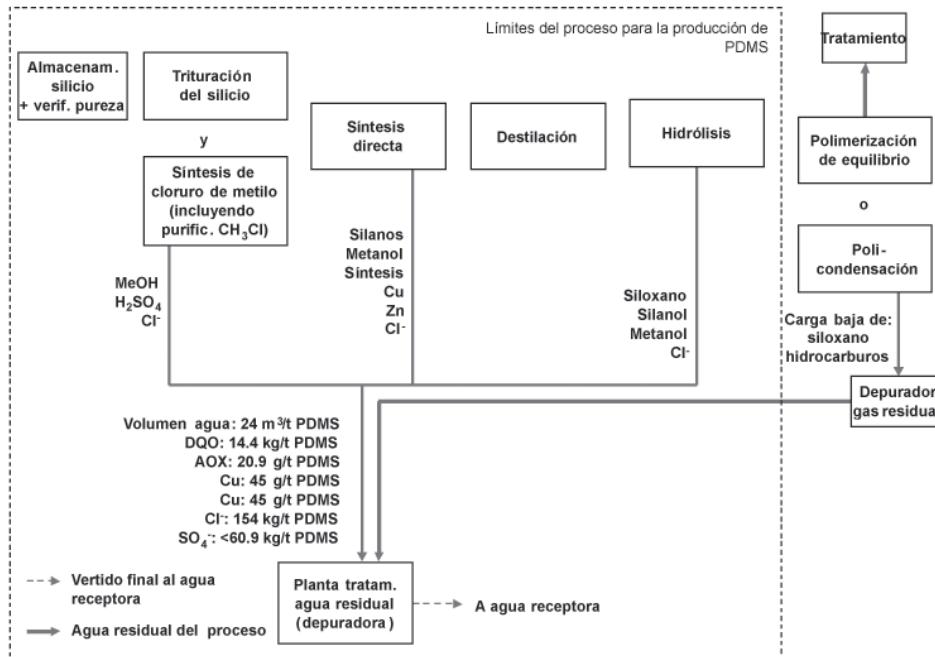
6.3.3.3. VERTIDOS AL AGUA

En la Figura 6.19 se muestran los vertidos al agua procedentes de la producción de PDMS.

Los principales orígenes de agua residual procedentes de la producción de PDMS son los siguientes:

- Síntesis de cloruro de metilo.
- Síntesis directa.
- Hidrólisis o condensación con la purificación posterior.

Figura 6.19. Vertidos al agua procedentes de la producción de PDMS



Nota 1: los datos específicos que se muestran en la Figura 6.19 con relación a los vertidos de aguas residuales son valores máximos del volumen de agua y de impurezas antes del tratamiento y hacen referencia únicamente a la producción de PDMS (es decir, las etapas de polimerización y policondensación no están incluidas).

Nota 2: los datos se refieren al caudal de entrada a la depuradora.

Nota 3: el tratamiento de las aguas residuales se lleva a cabo en dos etapas: el agua residual procedente de la producción de PDMS se trata previamente mediante precipitación o floculación y, a continuación, se aplica la sedimentación para eliminar metales pesados y aceites. Despues de este tratamiento previo, el agua residual se purifica en una etapa biológica junto con agua procedente de otros procesos de producción. En uno de los casos, se trata fuera de los límites de la instalación, en una planta de tratamiento de aguas residuales municipal.

Las principales impurezas orgánicas presentes en el agua residual procedente de la etapa de síntesis directa son siloxano, metanol y cloruro de metilo. Las principales impurezas orgánicas procedentes de la hidrólisis y de la síntesis de cloruro de metilo son siloxanos, silanol y metanol. Las impurezas orgánicas del agua residual surgen del uso de diferentes catalizadores y otros aditivos. Las principales impurezas inorgánicas presentes en el agua residual son cobre, cinc, cloruros y sulfatos.

La Tabla 6.17 presenta las concentraciones de cobre y cinc típicas tras la sedimentación.

Tabla 6.17. Concentraciones de metales tras la sedimentación

Parámetro	Concentración (mg/l)
Cu	<0,5
Zn	<2

Los residuos que quedan después de la sedimentación son una mezcla de residuos orgánicos y compuestos de metales. El lodo se deseche antes de eliminarlo por medio de combustión o en una instalación de eliminación de residuos peligrosos.

La purificación final del agua residual tiene lugar en una planta de tratamiento biológico, normalmente en combinación con aguas residuales procedentes de otros procesos de fabricación de la planta o con las aguas residuales del municipio.

6.3.3.4. SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS SÓLIDOS

6.3.3.4.1. *Subproductos*

La Tabla 6.18 indica el posible uso de subproductos procedentes de la producción de siliconas.

Tabla 6.18: Posible uso de subproductos procedentes de la producción de siliconas

Subproducto	Origen del proceso	Possible uso
H ₂ SO ₄	Síntesis de cloruro de metilo	Ventas externas y uso interno
Metiltriclorosilano	Síntesis directa	Ventas externas (por ejemplo, síntesis de silice pirogénica o siliconas especializadas) y uso interno
Trimetilclorosilano	Síntesis directa	Ventas externas (por ejemplo, síntesis de siliconas especializadas o hexametildisilazano) y uso interno
Otros silanos	Síntesis directa	Ventas externas (por ejemplo, síntesis de siliconas especializadas o silanos especializados) y uso interno
HCl	Tratamiento de HCl	Reciclado en la producción de cloruro de metilo y ventas externas

6.3.3.4.2. **Residuos**

Los residuos procedentes de la **síntesis directa** contienen siloxanos, silicio elemental y metales pesados.

Los residuos principales de la **hidrólisis** son siloxanos.

Los residuos procedentes de la **destilación** de clorosilano contienen hidrocarburos y clorosilanos.

Las cantidades de residuos que se incineran, entierran en un vertedero controlado o reciclan fuera de los límites del proceso varían de una planta de silicona a otra. La cantidad total de residuos generados en una instalación se encuentra en el intervalo de 46 – 313 kg/t de PDMS. Estas variaciones entre las instalaciones se originan debido a:

- Diferencias en las condiciones del proceso.
- Diferencias de reciclado dentro de los límites del proceso.
- Infraestructura local (por ejemplo, uso interno de subproductos en otros caudales de producción, incineración centralizada, disponibilidad de instalaciones de residuos y opciones de eliminación).
- Aspectos relacionados con los costes.

Las empresas con un alto índice de reciclado dentro de los límites del proceso presentan el volumen más bajo de residuos y, por consiguiente, un índice de reciclado menor fuera de los límites del proceso. Es más probable que las empresas con un gran volumen de residuos reciclen fuera de los límites del proceso.

6.3.3.5. RUIDO

La fuente de ruido principal en la producción de siliconas procede de la trituración del silicio elemental y de los compresores. La colocación de campanas para cubrir el molino y los compresores es una medida utilizada para reducir el nivel de ruido de la instalación.

6.3.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD

6.3.4.1. ALMACENAMIENTO DE SILICIO ELEMENTAL EN SILOS

Descripción

A su llegada a la instalación, el silicio elemental se almacena en silos y zonas cubiertas, protegido contra viento y lluvia. Tras la trituración, el silicio elemental se almacena siempre en silos.

Uno de los productores almacena el silicio elemental en tolvas de almacenamiento y se utilizan filtros de bolsa para minimizar las emisiones de polvo durante la carga de los terrones de silicio elemental en la tolva de almacenamiento. Otro productor utiliza un edificio de almacenamiento junto a la planta de molienda o compra silicio elemental con formas especiales y lo almacena en silos.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones difusas de polvo de silicio elemental.

Efectos cruzados

- Ninguno.

6.3.4.2. OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE SERVICIOS MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MÍNIMOS

Descripción

En el proceso de producción de PDMS se utilizan electricidad, vapor (1,2 bares, 6 bares, 10 bares, 30 bares) y gas natural (principalmente para el funcionamiento de las unidades de incineración de gases de descarga). La energía procedente de la síntesis de Müller- Rochow se convierte, por ejemplo, en vapor. El consumo de servicios para la destilación de silanos se optimiza mediante la metodología de mínimos. Los datos del análisis son confidenciales. La electricidad se emplea básicamente para el funcionamiento de bombas, agitadores y otros motores eléctricos.

Para obtener más información sobre la metodología de mínimos, consulte la Sección 4.8.1.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción del consumo de servicios generales.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Documentación de referencia

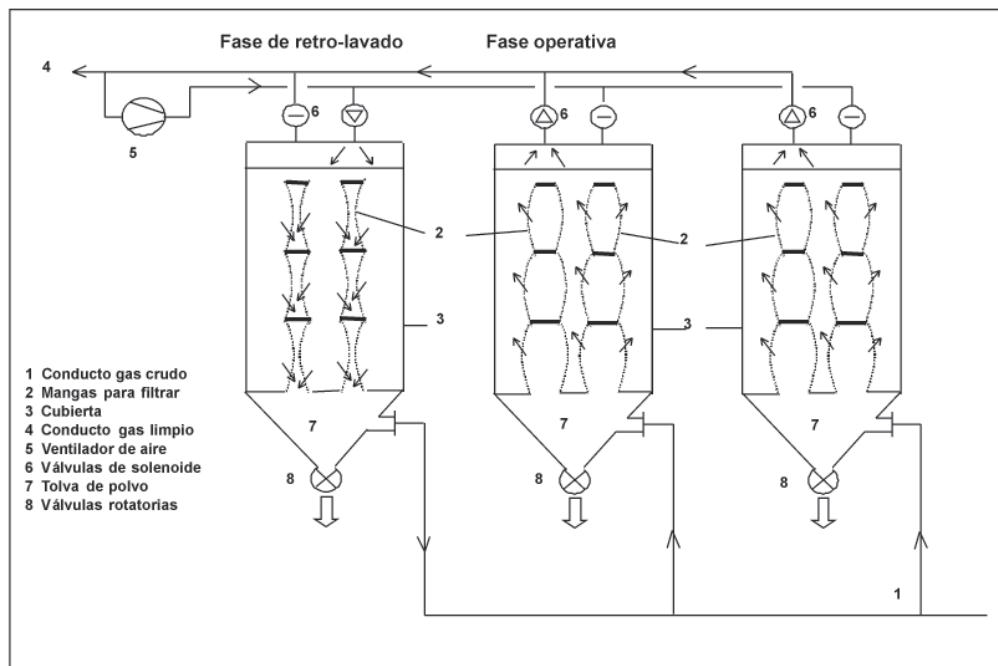
[18, European IPPC Bureau, 2004].

6.3.4.3. SISTEMA DE ELIMINACIÓN DEL POLVO POR VÍA SECA PARA LA TRITURACIÓN, EL ALMACENAMIENTO Y LA MANIPULACIÓN DEL SILICIO ELEMENTAL

Descripción

Se emplean sistemas de filtración para reducir las emisiones de polvo a la atmósfera procedentes de la trituración, el almacenamiento y la manipulación del silicio elemental. Por regla general se utilizan filtros de tela con este fin. En la Figura 6.20 se muestra un ejemplo de un sistema de filtros de tela.

Figura 6.20. Ejemplo de un sistema de filtros de tela utilizado en la producción de siliconas



Cada productor de silicona europeo tiene entre 5 y 20 filtros de tela (normalmente, uno en cada fuente puntual, por ejemplo, silo, molino) en su sistema de filtración.

El polvo que se separa se recoge y recicla en el proceso (síntesis directa).

En el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en los sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales del sector químico (Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems

in the Chemical Sector) [21, European IPPC Bureau, 2003] se ofrece una descripción de los filtros de tela.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de polvo a la atmósfera.
- Reducción del consumo de silicio elemental como materia prima mediante el reciclado en el proceso del polvo separado.

Efectos cruzados

En el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en los sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales del sector químico (Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector) [21, European IPPC Bureau, 2003] se ofrece información general sobre los efectos cruzados en relación con el uso de filtros de tela.

Datos operativos

En este sector industrial se ha registrado que una de las plantas productoras de siliconas logró unas emisiones muy bajas, de 5 mg/Nm³, mediante el uso de filtros de tela, aunque no sistemáticamente, y que un nivel de emisiones de 20 mg/Nm³ constituye un reto aceptable (Alemania indicó que una planta en su país cumple fácilmente los 20 mg/Nm³). La industria indicó que los fabricantes de filtros de tela no pueden garantizar niveles inferiores a los 20 mg/Nm³ debido a las características del polvo en la producción de siliconas (polvo muy fino y muy abrasivo). La mayoría de las mediciones que se llevaron a cabo (de uno a tres muestreos al año) muestran niveles de entre 5 y 20 mg/Nm³, así como niveles superiores de hasta 50 mg/Nm³ e incluso más altos.

La carga de los filtros cambia drásticamente durante el proceso de producción.

Los niveles de emisión que pueden alcanzarse por regla general con filtros de tela son de 2 – 10 mg/Nm³ [21, European IPPC Bureau, 2003].

En el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en los sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales del sector químico (Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector) [21, European IPPC Bureau, 2003] se ofrece más información sobre los datos operativos en relación con el uso de filtros de tela.

Aplicabilidad

En el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en los sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales del sector químico (Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector) [21, European IPPC Bureau, 2003] se presenta información general sobre la aplicabilidad.

Economía

En el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en los sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales del sector químico (Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector) [21, European IPPC Bureau, 2003] se ofrece información general sobre los aspectos económicos en relación con el uso de filtros de tela.

Impulsores de la implementación

- Regulaciones locales

Ejemplos de plantas

- Rhodia Silicones de Roussillon, Francia

Documentación de referencia

[21, European IPPC Bureau, 2003].

6.3.4.4. OPTIMIZACIÓN DE LA QUÍMICA PARA LA SÍNTESIS DIRECTA

Descripción

Se optimiza el sistema de catalizadores, el diseño del reactor y los parámetros físicos de la síntesis directa con el fin de minimizar la formación de hidrocarburos ligeros que se incineran. Los detalles de estas optimizaciones son específicos de cada productor y, por lo tanto, confidenciales.

Ventajas medioambientales logradas

- De COV reducción de la cantidad de residuos enviados a incinerar
- Reducción de las emisiones fugitivas

Datos operativos

Los productos químicos utilizados en la síntesis directa son información confidencial, por lo que no pueden proporcionarse los datos operativos.

6.3.4.5. RECUPERACIÓN DEL CLORURO DE METILO MEDIANTE LA CONDENSACIÓN CON INTERCAMBIADORES TÉRMICOS DE AGUA

Descripción

En una de las plantas, el gas residual tras la destilación, que contiene MeCl, N₂ y clorosilanos, se condensa antes de la incineración, en primer lugar mediante un condensador refrigerado por agua y, en segundo lugar, mediante un condensador refrigerado por amoníaco.

En otra de las plantas, los condensadores de agua maximizan la recuperación de cloruro de metilo para su reutilización. El cloruro de metilo residual no condensado y los gases inertes (principalmente nitrógeno) pasan a la unidad de incineración. Esta técnica de condensación se utiliza como ejemplo industrial en una guía de buenas prácticas publicada por Envirowise en Reino Unido.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de cloruro de metilo a la atmósfera.
- Reducción del consumo de cloruro de metilo como materia prima mediante recuperación y reciclado en el proceso.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Datos operativos

El cloruro de metilo se comprime hasta aproximadamente 6 bares para permitir la condensación con agua. Los detalles operativos son confidenciales.

Impulsores de la implementación

Cumplimiento de las regulaciones locales, los aspectos económicos y los estatutos de la iniciativa Responsible Care (llamada Compromiso de progreso en España) de la industria química.

Ejemplos de plantas

- Dow Corning, Reino Unido
- GE Bayer Silicones, Alemania
- Wacker-Chemie GmbH, Alemania

Documentación de referencia

www.envirowise.gov.uk; GG100 Solvent Capture and Recovery in Practice: Industry Examples.

6.3.4.6. RECUPERACIÓN DEL CLORURO DE METILO MEDIANTE LA CONDENSAZIÓN UTILIZANDO FLUIDOS CRIOGÉNICOS

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de cloruro de metilo a la atmósfera.
- Reducción del consumo de cloruro de metilo como materia prima mediante recuperación y reciclado en el proceso.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Impulsores de la implementación

Cumplimiento de las obligaciones regulatorias y aspectos económicos

Ejemplos de plantas

- Dow Corning, Reino Unido
- GE Bayer Silicones, Alemania
- Rhodia, Francia
- Wacker-Chemie GmbH, Alemania

Documentación de referencia

- No se conoce.

6.3.4.7. CONDENSACIÓN DEL METILCLOROSILANO MEDIANTE CONDENSADORES DE AIRE

Descripción

Los metilclorosilanos se condensan mediante condensadores de aire.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción del agua de refrigeración
- Reducción del riesgo de que el agua se introduzca en los metilclorosilanos

Efectos cruzados

- No se conocen.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Ejemplos de plantas

- GE Bayer Silicones, Alemania
- Wacker-Chemie GmbH, Alemania

Documentación de referencia

- No se conoce

6.3.4.8. OXIDACIÓN TÉRMICA DE GASES RESIDUALES QUE CONTIENEN HIDROCARBUROS LIGEROS Y COMPUESTOS ORGANOCLORADOS

Descripción

Los gases residuales que contienen hidrocarburos ligeros y compuestos organoclorados procedentes de la producción de siliconas se tratan en una unidad de oxidación térmica.

La unidad de oxidación térmica debe recibir autorización para quemar los compuestos clorados. La cantidad de emisiones a la atmósfera de COV, cloruro de

metilo y clorosilanos tiene relación directa con la fiabilidad de la unidad de oxidación térmica. Para reducir las emisiones de cloruro, se necesita un lavador de gases después de la oxidación térmica.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones de COV (hidrocarburos ligeros).
- Reducción de las emisiones de cloruro de metilo.
- Reducción de las emisiones de clorosilanos.

Efectos cruzados

La oxidación térmica de sustancias cloradas requiere el uso de combustible (por ejemplo, gas natural), a no ser que las sustancias cloradas se incineren junto con otros residuos de poder calorífico adecuado.

Datos operativos

Los datos de emisiones para las sustancias individuales (por ejemplo, contaminantes), en particular HCl, no se pudieron derivar, ya que tres de las cuatro instalaciones comparten los equipos de reducción de final de línea con otros procesos y caudales de residuos que no pertenecen al sector de las SIC.

Para evitar la formación de dibenzodioxinas/furanos policlorados (PCDD/F) al incinerar compuestos clorados con un contenido de más del 1% de sustancias organohalogenadas, se consideraron apropiadas las siguientes condiciones operativas especiales. Estas condiciones se indican en varias normativas de la UE sobre la incineración, por ejemplo, la directiva 2000/76/CE sobre la incineración de residuos:

- Temperatura >1100 °C (850 °C cuando se incineran residuos con menos del 1% de sustancias organohalogenadas).
- Tiempo de residencia >2 s.
- Contenido en oxígeno >3%.

Además, se tienen que prevenir las condiciones que favorecen la formación de dioxinas/furanos inmediatamente después de la combustión. Esto se consigue con un «temple rápido» de los gases posteriores a la combustión mediante su enfriamiento muy rápidamente desde altas temperaturas hasta por debajo del intervalo de temperaturas de la nueva formación de dioxinas/furanos.

Estas medidas están diseñadas para mantener las emisiones de PCDD/F por debajo de 0,1 ng TEQ/Nm³.

Los gases residuales se oxidan térmicamente con o sin caudales de líquidos o sólidos adicionales que pueden no formar parte de la producción de PDMS. Estas diferentes condiciones del caudal de alimentación y las tecnologías utilizadas generan parámetros de descarga a la atmósfera distintos con sus correspondientes concentraciones de descarga.

Uno de los productores de PDMS normalmente pone en funcionamiento la unidad de oxidación térmica a 1150 °C. El gas residual proporciona, por regla general, suficiente energía para alcanzar una temperatura de funcionamiento de estas características sin que sea necesario utilizar fueloil adicional o muy poco. Para funcionar a temperaturas más bajas se requiere energía adicional en forma de refrigeración. Otros productores operan a temperaturas más bajas, por ejemplo, 850 °C, debido a la incineración conjunta de los residuos (sólidos y/o líquidos). El funcionamiento a temperaturas mayores puede requerir energía calorífica adicional.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Regulaciones locales

Ejemplos de plantas

- Wacker-Chemie GmbH, Alemania
- GE Bayer Silicones, Alemania
- Dow Corning, Reino Unido
- Rhodia, Francia.

Documentación de referencia

BREF WI [34, European IPPC Bureau, 2004].

6.3.4.9. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA PRODUCCIÓN DE PDMS

Descripción

Ciertos metales se utilizan como catalizadores en la etapa de síntesis directa (los sistemas de catalizadores específicos son confidenciales). Los efluentes de

agua procedentes de la etapa de destilación posterior contienen restos de estos metales.

El agua residual procedente de la producción de PDMS se trata en dos etapas: el agua residual recibe un tratamiento previo mediante precipitación o floculación y, a continuación, se aplica la sedimentación para eliminar metales pesados. Después de este tratamiento previo, el agua residual se purifica en una etapa biológica (en la propia planta o externamente en una planta de tratamiento municipal de aguas residuales).

En la etapa de tratamiento previo, los iones solubles de metales pesados que se encuentran en el agua residual procedente de la producción de PDMS (por ejemplo, Zn, Cu, Al) se convierten en complejos metálicos insolubles por precipitación mediante la adición de, por ejemplo, hidróxido cálcico (Ca(OH)_2). Es necesario que el pH de la solución alcance un nivel adecuado para permitir que los iones de metales pesados solubles presentes en el agua residual puedan precipitarse de la solución. El pH debe estar entre 8 y 10. Debe tenerse en cuenta que el Zn y el Al son sustancias anfóteras por lo que necesitan mantener el pH dentro de un determinado intervalo para la precipitación. Para facilitar el proceso de precipitación se utilizan floculantes.

La mezcla de líquidos/sólidos pasa a través de una clarificadora o depósito de decantación que permite que los sólidos se sedimenten debido a la gravedad (sedimentación) antes de eliminarlos al fondo de la clarificadora. A continuación, los sólidos eliminados (consistentes en calcio y sales metálicas) se desecan utilizando un filtro antes llevarlos a un vertedero controlado o a incinerar. Con el tiempo (años) puede formarse algún residuo sólido en el depósito de alimentación para el tratamiento de las aguas. Estos residuos se eliminan periódicamente (~ cada cuatro años, aprovechando la inspección de mantenimiento del depósito) y se envían a enterrar en un vertedero controlado o a incinerar. El lodo sedimentado es una mezcla de residuos orgánicos y compuestos de metales que, tras la desecación, se envían para su eliminación a un incinerador o a un vertedero controlado de residuos peligrosos.

A no ser que los efluentes que contienen partículas orgánicas se hubieran separado antes del tratamiento con cal, lo cual haría innecesario cualquier otro tratamiento biológico, el efluente clarificado pasa a un proceso de tratamiento biológico en el que se mezclan microorganismos (o biomasa) con el efluente en un biorreactor para consumir la materia orgánica existente. Como la biomasa digiere la materia orgánica del efluente, se produce dióxido de carbono y éste se absorbe en el agua como ácido carbónico que reduce el pH del caudal de efluente final. Para mantener activa la biomasa se introduce aire u oxígeno en el biorreactor. El efluente se desborda del biorreactor hacia una clarificadora en la que se sedimenta la biomasa y se devuelve al biorreactor. El agua clarificada pasa por un filtro para eliminar los sólidos restantes como última etapa de tratamien-

to. Los lodos se incineran, se entierran en vertederos controlados o se envían a plantas de recuperación de metales.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción del contenido de COT en el agua descargada.
- Reducción del contenido de metales pesados en el agua descargada.

Efectos cruzados

- Consumo de productos químicos para precipitación/floculación (por ejemplo, hidróxido cálcico).
- Consumo de energía.
- La etapa de precipitación/floculación produce lodos que es necesario eliminar.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general. Se puede utilizar hidróxido de sodio como agente de precipitación pero puede no resultar rentable.

Ejemplos de plantas

- GE Bayer Silicones, Alemania
- Dow Corning, Reino Unido
- Wacker-Chemie GmbH, Alemania
- Rhodia, Francia.

6.3.4.10. MINIMIZACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Descripción

Se miden volúmenes de agua de refrigeración y de proceso para todo el proceso de fabricación hasta los productos acabados. Se optimiza el uso del agua. Siempre que sea posible y esté económicamente justificado, los intercambiadores térmicos se construyen como condensadores de aire.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción del contenido de COT y Cl en el agua descargada.
- Reducción de aguas residuales.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Reducción de costes.

Ejemplos de plantas

- GE Bayer Silicones, Alemania.

Documentación de referencia

- No se conoce.

6.3.4.11. REUTILIZACIÓN DEL AGUA FORMADA EN LA ETAPA DE LA SÍNTESIS DEL CLORURO DE METILO PARA LA HIDRÓLISIS

Descripción

El agua formada en la etapa de la síntesis del cloruro de metilo puede reutilizarse en la etapa de la hidrólisis.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la cantidad de aguas residuales generadas en la producción.
- Reducción del consumo de agua dulce en la etapa de la hidrólisis.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Aplicabilidad

Los restos de metanol en el agua, formada en la etapa de la síntesis del cloruro de metilo, pueden provocar el bloqueo del grupo metoxi de los siloxanos PDMS lineales, por tanto, la reutilización del agua en la etapa de la hidrólisis sólo puede

aplicarse si el efecto que se indica sobre los productos finales es aceptable para los clientes.

Impulsores de la implementación

- Economía.

Ejemplos de plantas

- GE Bayer Silicones, Alemania
- Wacker-Chemie GmbH, Alemania.

Documentación de referencia

- No se conoce.

6.3.4.12. RECUPERACIÓN DE HCl DE LA HIDRÓLISIS DEL DIMETILDICLOROSILANO

Descripción

El HCl se recupera de la hidrólisis del dimetildiclorosilano y se utiliza en la síntesis del cloruro de metilo.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción del consumo de HCl en la síntesis del cloruro de metilo

Aplicabilidad

La recuperación de HCl no es eficiente para pequeños volúmenes de producción. En esos casos, el cloruro de hidrógeno se neutraliza y descarga al sistema de alcantarillado.

Impulsores de la implementación

- Aspectos relacionados con los costes.

Ejemplos de plantas

- Wacker-Chemie GmbH, Alemania
- Dow Corning, Reino Unido
- GE Bayer Silicones, Alemania

Documentación de referencia

- No se conoce.

6.3.4.13. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SILICIO ELEMENTAL

Descripción

El tamaño de las partículas de silicio elemental es <1 mm para alcanzar la máxima eficacia (es decir, el rendimiento de la reacción) de la reacción química en la síntesis directa. Los datos sobre el tamaño exacto de las partículas utilizado se consideran confidenciales.

Ventajas medioambientales logradas

- Gran eficacia con una pérdida pequeña de silicio elemental como residuo.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Impulsores de la implementación

- Aumento del rendimiento del proceso.

Ejemplos de plantas

- Wacker-Chemie GmbH, Alemania.

Documentación de referencia

- No se conoce.

6.3.4.14. UTILIZACIÓN DE UN ALMACENAMIENTO CUBIERTO PARA EL SILICIO ELEMENTAL

Descripción

El almacenamiento del silicio elemental antes de la trituración se lleva a cabo en una zona cubierta.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones difusas de silicio elemental a la atmósfera.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Regulaciones locales.

Ejemplos de plantas

- Dow Corning, Reino Unido
- Wacker-Chemie GmbH, Alemania.

Documentación de referencia

- No se conoce.

6.3.4.15. MINIMIZACIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA DE IGNICIÓN PROCEDENTE DE LA TRITURACIÓN DEL SILICIO ELEMENTAL

Descripción

La instalación de un sistema de tipo magnético permite capturar las partes metálicas en la parte ascendente del molino.

La instalación de palas antiestáticas en el elevador de cangilones limita la acumulación de electricidad estática.

Ventajas medioambientales logradas

- riesgo de incendio (con su posterior impacto medioambiental) reducido.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Impulsores de la implementación

- Seguridad contra incendios.

Ejemplos de plantas

- Rhodia, Francia.

Documentación de referencia

- No se conoce.

**6.3.4.16. MINIMIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EXPLOSIÓN DE LA TRITURACIÓN
Y DEL TRANSPORTE DEL SILICIO ELEMENTAL**

Descripción

La concentración de oxígeno y/o polvo de silicio elemental en la atmósfera del equipo (por ejemplo, molino, transportador) se mantiene permanentemente en un nivel seguro inferior al LEL (límite explosivo inferior). El nivel de oxígeno seguro para el silicio elemental es aproximadamente un 5%, según el tamaño de las partículas de silicio. El contenido de oxígeno se monitoriza constantemente y las alarmas se notifican a la sala de control. El molino se detiene automáticamente cuando hay un contenido de oxígeno elevado.

El transporte neumático del silicio elemental molido se lleva a cabo en una atmósfera de gas inerte (por ejemplo, nitrógeno).

La unidad de trituración se mantiene a una presión ligeramente mayor que la presión atmosférica para impedir la entrada de aire. La planta de trituración también puede funcionar a una presión menor que la atmosférica con el fin de reducir la posibilidad de que se produzcan emisiones difusas de polvo de silicio elemental.

Cualquier corte de suministro de nitrógeno a la unidad de trituración hace que la unidad se detenga.

Ventajas medioambientales logradas

- Riesgo de explosión (con su posterior impacto medioambiental) reducido.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Seguridad contra explosiones.

Ejemplos de plantas

- Rhodia, Francia.

Documentación de referencia

Directiva 94/9/CE de 23 de marzo de 1994 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (llamada también directiva ATEX).

Directiva 1999/92/CE de 16 de diciembre de 1999 relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas.

6.3.4.17. REFRIGERACIÓN DE LAS COLUMNAS DE DESTILACIÓN CON AIRE

Descripción

Los organoclorosilanos son muy sensibles a la hidrólisis, es decir, que reaccionan fácilmente con agua y producen enérgicamente ácido clorhídrico. Por motivos de seguridad en caso de fugas, las columnas de destilación no suelen refrigerarse con agua, sino con aire [7, Dr. Held, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

- Riesgo de accidentes (con su posterior impacto medioambiental) reducido.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Seguridad.

6.3.4.18. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE RESERVA PARA LOS TRATAMIENTOS DEL AGUA RESIDUAL

Descripción

Puede instalarse una fuente de alimentación de reserva para los tratamientos del agua residual.

Otra posibilidad es disponer de un depósito con un volumen de almacenamiento adecuado para las aguas sin tratar en caso de que se averíe la fuente de energía.

Ventajas medioambientales logradas

- límite de los riesgos de derrames accidentales.

Efectos cruzados

- No se conocen.

Documentación de referencia

Informe de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA).

6.3.5. Mejores técnicas disponibles

Según la introducción de las MTD del Capítulo 5 y teniendo en cuenta que también se definen las MTD genéricas para el sector de las SIC en el Capítulo 5, esta sección presenta conclusiones específicas de las MTD que pueden aplicarse en general a la producción de siliconas. Por lo tanto, las MTD para la producción de siliconas son el resultado de combinar los elementos genéricos presentados en el Capítulo 5 y los elementos específicos que se indican en esta sección.

Selección, almacenamiento, manipulación y preparación de materias primas

Constituye una MTD:

- 6.3.1 minimizar las emisiones difusas de polvo procedentes del almacenamiento y manipulación de silicio elemental como materia prima, aplicando una combinación de las siguientes técnicas (véase la Sección 6.3.4.1):
- a. almacenamiento de silicio elemental en silos
 - b. almacenamiento de silicio elemental en zonas cubiertas protegidas de la lluvia y el viento
 - c. uso de equipos diseñados con campanas y conductos para capturar las emisiones difusas de polvo durante la carga del silicio elemental en el lugar de almacenamiento
 - d. mantenimiento de la atmósfera del molino a una presión ligeramente inferior que la presión atmosférica

Para alcanzar la máxima eficacia (es decir, el rendimiento de la reacción) de la reacción química en la síntesis directa, constituye una MTD:

- 6.3.2 usar materias prima de silicio elemental con un tamaño de partículas <1 mm (véase la Sección 6.3.4.13).

Constituye una MTD:

- 6.3.3 reducir las emisiones de polvo procedentes de la trituración, almacenamiento y manipulación del silicio elemental, y conseguir unos niveles de emisión de 5 – 20 mg/Nm³ (media anual) utilizando filtros de tela y reciclando en la propia producción el polvo separado (véase la Sección 6.3.4.3).

Constituye una MTD:

- 6.3.4 minimizar la cantidad de cloruro de metilo como materia prima que se utiliza recuperando el cloruro de metilo contenido en los gases residuales procedentes de la etapa de destilación (véanse las secciones 6.3.4.5 y 6.3.4.6).

Para grandes volúmenes de producción, constituye una MTD:

- 6.3.5 minimizar la cantidad de HCl como materia prima utilizada en la etapa de síntesis del cloruro de metilo recuperando el HCl de la etapa de la hidrólisis (véase la Sección 6.3.4.12).

Química de la síntesis directa

Constituye una MTD:

- 6.3.6 minimizar la cantidad de residuos generados en el proceso de producción optimizando la química de la síntesis directa. Se incluye todo lo siguiente (véase la Sección 6.3.4.4):
- optimización del sistema de catalizadores
 - optimización del diseño del reactor
 - optimización de los parámetros físicos

Constituye una MTD:

- 6.3.7 maximizar el uso de subproductos generados en la producción de siliconas (véase la Sección 6.3.3.4). La Tabla 6.18 indica el posible uso de subproductos.

Prevención de accidentes

Si se utiliza un elevador de cangilones para cargar el molino, constituye una MTD:

- 6.3.8 minimizar las fuentes de energía de ignición procedentes de la trituración del silicio elemental (véase la Sección 6.3.4.15), por ejemplo, instalando palas antiestáticas en el elevador de cangilones para limitar la acumulación de electricidad estática.

Para minimizar el riesgo de accidentes y el posterior impacto medioambiental, constituye una MTD:

- 6.3.9 minimizar las fuentes de explosiones derivadas de la trituración y del transporte de silicio elemental, manteniendo el contenido de oxígeno y/o de polvo de silicio elemental en la atmósfera del equipo a un nivel seguro, por debajo del límite inferior de explosividad, por ejemplo, aplicando una combinación de las medidas que se indican a continuación (véase la Sección 6.3.4.16). El nivel de oxígeno seguro para el silicio elemental es aproximadamente un 5%, según el tamaño de las partículas de silicio:

- a. usar inyección de nitrógeno gaseoso o extracción continua de polvo
- b. monitorizar permanentemente el contenido de oxígeno en la atmósfera del molino y notificar las alarmas a la sala de control
- c. llevar a cabo el transporte neumático del silicio elemental molido en una atmósfera de gas inerte
- d. interrumpir el molino en caso de avería en el suministro de gas inerte.

Para reducir el riesgo de accidentes y el posterior impacto medioambiental, constituye una MTD:

6.3.10 refrigerar las columnas de destilación con aire (véase la Sección 6.3.4.17).

Energía

Constituye una MTD:

6.3.11 reducir el consumo de energía reciclando la energía producida en la síntesis directa, por ejemplo, para la etapa de destilación (véase la Sección 6.3.3.1.2).

Tratamientos de gas residual

Constituye una MTD:

6.3.12 minimizar las emisiones a la atmósfera de COV (hidrocarburos ligeros) y compuestos clorados mediante la oxidación térmica de los gases residuales procedentes del cloruro de metilo, de las etapas de síntesis directa y del proceso de destilación. Debe seguirle un proceso de lavado de gases (véase la Sección 6.3.4.8).

En general, constituye una MTD utilizar las condiciones operativas (es decir, temperaturas, tiempo de residencia y turbulencia) según se especifican en el artículo 6 de la directiva 2000/76/CE. Por regla general, debe evitarse la utilización de condiciones operativas adicionales a las requeridas para la destrucción eficaz de los COV (hidrocarburos ligeros) y compuestos clorados. La utilización de otras condiciones operativas también puede constituir una MTD si proporcionan un nivel similar o superior de comportamiento medioambiental. Por ejemplo, donde se ha demostrado que el uso de temperaturas de funcionamiento inferiores a 1100 °C (como se especifica para determinados residuos peligrosos en 2000/76/CE) proporciona un nivel similar o superior de comportamiento medioambiental. El uso de estas temperaturas más bajas se considera una MTD.

Tratamiento/gestión de aguas residuales

Constituye una MTD:

6.3.13 minimizar el consumo de agua aplicando todo lo siguiente (véase las secciones 6.3.4.10 y 6.3.4.11):

- a. medir volúmenes de agua de refrigeración y de proceso para todo el proceso de fabricación hasta los productos acabados;
- b. optimizar el uso del agua;
- c. utilizar condensadores refrigerados por aire en lugar de condensadores refrigerados por agua siempre que esté económica y técnicamente justificado;
- d. reutilizar agua formada en la etapa de síntesis del cloruro de metilo en la etapa de la hidrólisis, siempre y cuando se toleren los cambios que se pudieran producir en la calidad del producto.

Para el tratamiento de aguas residuales, constituye una MTD:

6.3.14 minimizar los vertidos de cobre y cinc al agua pretratando los efluentes de agua procedentes de la producción de PDMS, mediante precipitación o floculación en condiciones alcalinas, seguida de sedimentación y filtración (véase la Sección 6.3.4.9). Esto incluye:

- a. desecar los lodos antes de la eliminación y
- b. recuperar los residuos de metales sólidos en plantas de recuperación de metales o
- c. eliminar los lodos por medio de incineración o enterrándolos en un vertedero controlado.

Constituye una MTD:

6.3.15 reducir la DBO/DQO del agua que sale del pretratamiento aplicando una etapa de tratamiento biológico (véase la Sección 6.3.4.9).

Constituye una MTD:

6.3.16 minimizar el riesgo de derrames accidentales en caso de que se averíe la fuente de energía aplicando cualquiera de las siguientes técnicas (véase la Sección 6.3.4.18):

- a. proporcionar una fuente de alimentación de reserva automática para los tratamientos del agua residual
- b. proporcionar un depósito con un volumen de almacenamiento adecuado para las aguas residuales sin tratar.

6.4. Especialidades químicas inorgánicas (SIC) explosivas

[15, Castresana, 2004] [1, Ullmann, 2001]

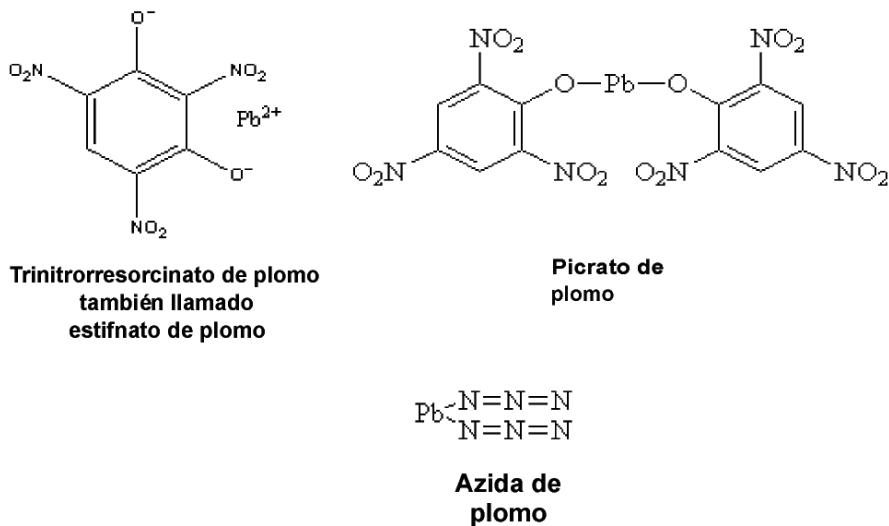
Las sustancias explosivas que se estudian en esta sección se limitan a las que se generan por transformación química y que se ajustan a la definición de especialidades químicas inorgánicas que se cita en la sección Ámbito de aplicación, de este documento. En este documento no se contemplan los explosivos inorgánicos producidos por procesos no químicos (es decir, procesos físicos como la mezcla de materiales).

Los explosivos inorgánicos se clasifican como «explosivos primarios» [1, Ullmann, 2001], cuya función principal es producir una onda de choque cuando el explosivo se estimula de forma eléctrica, óptica o por percusión, iniciando así un «explosivo secundario». Los explosivos primarios son extraordinariamente sensibles (por ejemplo, al choque, fricción, calor, electricidad, radiación), poseen elevada pureza en la mayoría de los casos y pueden iniciar su descomposición con muy poca energía externa, lo cual dificulta sobremanera su transporte. Ésta es la razón por la que los productos para usuarios finales que contienen estas sustancias (por ejemplo, detonadores) se produzcan en las mismas ubicaciones en las que se fabrican dichas sustancias.

Los explosivos orgánicos se clasifican como «explosivos secundarios» y representan ingredientes activos que se utilizan en productos energéticos como las dinamitas y las pólvoras sin humos. La producción de los explosivos orgánicos se aborda en el documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles para los sectores de fabricación de especialidades químicas orgánicas finas [18, European IPPC Bureau, 2004].

Las especialidades químicas inorgánicas (SIC) explosivas que tienen importancia industrial y económica en Europa son la **azida de plomo**, el **trinitrorresorcinato de plomo** (llamado también estifnato de plomo) y el **picrato de plomo**. Se utiliza más el trinitrorresorcinato de plomo que la azida de plomo, principalmente para la iniciación de dispositivos pirotécnicos de seguridad y para detonadores de cebado para munición de caza (probablemente más de 100 t/año en Europa).

Figura 6.21. Estructura química de algunos explosivos primarios



La Figura 6.21 presenta la estructura química de estos explosivos. Debe tenerse en cuenta que algunas SIC explosivas no son compuestos estrictamente inorgánicos y pueden tener contenido orgánico. No obstante, a efectos de este documento se consideran sustancias SIC ya que se producen mediante química inorgánica.

6.4.1. Información general

Las **azidas de plomo** son sólidos cristalinos claros blancos o amarillos, ligeramente solubles en agua caliente y en alcohol, y muy solubles en una solución diluida de ácido nítrico o acético en la que se ha disuelto un poco de nitrato sódico.

Los **trinitrorresorcinatos de plomo** son sólidos cristalinos que van del amarillo al marrón oscuro, solubles en agua caliente y ácido nítrico. Sólo presentan una baja solubilidad en etanol y acetona, y son insolubles en éter, benceno, tolueno y ácido clorhídrico.

Los **picratos de plomo** son sólidos cristalinos en forma de agujas que van del amarillo al marrón oscuro, insolubles en agua y solubles en ácido nítrico y ácido clorhídrico.

6.4.1.1. Usos

Las especialidades químicas inorgánicas (SIC) explosivas son ingredientes activos de uso muy difundido en la iniciación de otros productos explosivos, como las dinamitas y las pólvoras sin humos. Otros usos incluyen iniciadores en municiones, detonadores, propulsantes (para propulsar cohetes y misiles) y pirotecnia. Las SIC explosivas también se usan en los infladores de airbags y en los pretensores de cinturones de seguridad.

La Tabla 6.19 presenta las aplicaciones principales de las SIC explosivas.

Tabla 6.19: Aplicaciones principales de las SIC explosivas

SIC explosivas	Aplicaciones principales
Azida de plomo	Iniciación de explosivos secundarios para usos civiles o militares
Trinitrorresorcinato de plomo	Iniciación de productos deflagrantes, como pólvora, propulsantes, fuegos artificiales, así como en pirotecnia y en los infladores de bolsas neumáticas y pretensores de cinturones de seguridad.
Picrato de plomo	Iniciación de productos deflagrantes, como pólvora, propulsantes, fuegos artificiales, así como en pirotecnia y en los infladores de airbags y pretensores de cinturones de seguridad.

6.4.1.2. TOXICIDAD

La azida de plomo, el trinitrorresorcinato de plomo y el picrato de plomo están clasificados como «sustancias peligrosas» en la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Hay que tener en cuenta que en varios países se está experimentando con algunos productos nuevos, que son menos tóxicos que los compuestos de plomo, para su uso como explosivos primarios.

6.4.1.3. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La capacidad de producción registrada de la **azida de plomo**, el **trinitrorresorcinato de plomo** y el **picrato de plomo** en Europa se indica en la Tabla 6.20.

Tabla 6.20. Capacidad de producción de azida de plomo, trinitrorresorcinato de plomo y picrato de plomo en Europa

Ubicación (población, país)	Capacidad de producción en 2004
Troisdorf, Alemania	Azida de plomo Trinitrorresorcinato de plomo
Rivalta, Italia	~20 t de trinitrorresorcinato de plomo
Galdácano, España	<15 t de azida de plomo <10 t de trinitrorresorcinato de plomo
Vsetin, República Checa	<5 t de azida de plomo <5 t de trinitrorresorcinato de plomo <300 kg de picrato de plomo
Clérieux, Francia	~25 t de trinitrorresorcinato de plomo
Héry, Francia	<5 t de azida de plomo <5 t de trinitrorresorcinato de plomo
Survilliers, Francia	<5 t de trinitrorresorcinato
Tarbes, Francia	~1 t de azida de plomo ~1 t de trinitrorresorcinato de plomo
La Ferté-Saint-Aubain, Francia	<1 t de azida de plomo <1 t de trinitrorresorcinato de plomo

Hay que tener en cuenta que existen otros productores europeos en Italia, Alemania, Portugal y probablemente en Suecia, Austria y Polonia [40, ZANTE, 2004].

Se producen menos de 25 toneladas de SIC explosivas (azida de plomo y trinitrorresorcinato de plomo) en España y Portugal cada año, frente a la producción total de 95.000 toneladas de explosivos (tanto explosivos «primarios» como «secundarios») en estos dos países, la mayoría de las cuales son de naturaleza orgánica.

En Francia, las capacidades de producción total están muy por encima de la producción efectiva (entre 50 y 100 kg/día de producción en cada instalación).

Debido a que las sustancias SIC explosivas son extraordinariamente sensibles (es decir, se encienden o detonan con facilidad) y, por lo tanto, son peligrosas de transportar, los artículos confeccionados con sustancias SIC explosivas (por ejemplo, detonadores, detonadores de chorreo, sistemas de iniciación para pirotecnia y propulsantes) y diseñados para que sean seguros durante el almacenamiento, el transporte y el uso se fabrican en las mismas plantas que las sustancias SIC explosivas.

6.4.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA EUROPEA DE SIC EXPLOSIVAS

En Europa hay grandes empresas (más de 250 empleados) y medianas empresas (entre 50 y 249 empleados) dedicadas a la fabricación de SIC explosivas. La mano de obra empleada para el funcionamiento de los centros de producción de SIC explosivas en estas empresas suele ser inferior a 20 personas. La producción se lleva a cabo por lotes en centros cuyos edificios de producción y almacenamiento están dispersos como medida de seguridad. En España, la producción se lleva a cabo en instalaciones que forman parte de un complejo de fabricación de explosivos mayor en el que se producen explosivos secundarios. En Francia, la producción se lleva a cabo en plantas dedicadas a la producción de dispositivos de iniciación.

6.4.1.5. ECONOMÍA

Los datos económicos y los precios de los productos no suelen estar disponibles públicamente en la industria de explosivos.

En el caso de las SIC explosivas, que se utilizan como cargas iniciadoras de explosivos orgánicos y agentes de chorreo, las cifras de producción se ciñen a las de estos explosivos secundarios. Por ello, como las cifras de producción de los explosivos secundarios han permanecido prácticamente constantes durante los últimos años o descienden ligeramente, las cifras de producción de las sustancias SIC utilizadas como sistemas iniciadores también se han mantenido constantes. Debido a que las dos aplicaciones más importantes de los explosivos se encuentran en obras públicas y en minería, es importante destacar que, en el momento en que se redactó este documento, la minería en Europa se encontraba en declive y la obra pública (principalmente la construcción de carreteras y túneles) era el único mercado que presentaba un índice de crecimiento significativo en algunos Estados miembros.

En el caso de las SIC explosivas que se utilizan en el sector de la automoción (principalmente trinitrorresorcinato de plomo), la producción ha aumentado con-

siderablemente durante los últimos 10 años. Sin embargo, la Directiva 2000/53/CE, relativa a los vehículos al final de su vida útil, prohíbe el uso de compuestos de plomo a partir del 1 de julio de 2007, por lo que después de esa fecha la producción debería descender en gran medida.

Las SIC explosivas (trinitrorresorcinato de plomo) se utilizan ampliamente como componente principal de detonadores de cebado en munición de caza y deportiva. Este mercado desciende ligeramente y se está empezando a investigar en productos nuevos sin plomo (por ejemplo, 2-diazo-4,6-dinitrofenol, mercurio-5-nitrotetrazol) que todavía no se comercializan.

Los clientes finales no compran las SIC explosivas directamente, sino indirectamente al comprar los productos o dispositivos que las usan (es decir, detonadores de cebado o de percusión, cargas iniciadoras, detonadores, dispositivos pirotécnicos, etc.) y a veces las compran como productos por separado. En otros casos, las SIC explosivas se adquieren como parte de un suministro o servicio más amplio, de modo que resulta muy difícil proporcionar información general acerca de la competencia o la estructura del mercado para las SIC explosivas.

6.4.2. Procesos y técnicas aplicados

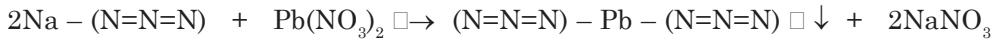
Las siguientes operaciones se llevan a cabo en la producción de las SIC explosivas:

- Solución de materias primas
- Reacción
- Purificación
- Secado (no sistemáticamente, véase la Sección 6.4.2.6).

Los pavimentos de los edificios en los que se realizan estas operaciones están impermeabilizados con el fin de contener cualquier derrame e impedir la contaminación del suelo con los compuestos de plomo.

6.4.2.1. QUÍMICA DE PROCESOS

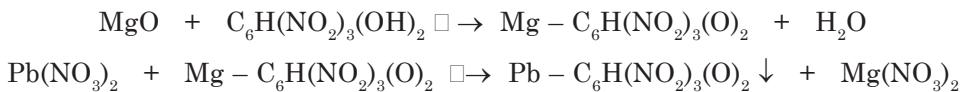
La azida de plomo se produce por reacción de nitrato de plomo (sólido) y azida de sodio (sólida) en proporciones estequiométricas a través de la siguiente reacción:



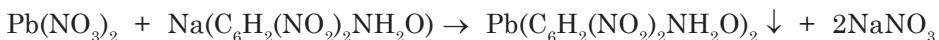
La azida de sodio se produce industrialmente mediante la reacción de sodio líquido con amoníaco líquido, seguida de la adición de óxido nitroso para obtener azida de sodio e hidróxido de sodio. La azida de sodio, que se utiliza en las instalaciones de

fabricación de SIC explosivas en Europa, se importa de países no europeos.

El **trinitrorresorcinato de plomo** se produce por reacción de nitrato de plomo (sólido), óxido de magnesio (sólido) y trinitrorresorcina (sólida) a través de la siguiente reacción:



El **pícrato de plomo** se produce por reacción de nitrato de plomo – $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, pícrato de sodio y ácido acético (CH_3COOH) a través de la siguiente reacción:



6.4.2.2. ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES

Las materias primas se almacenan a cubierto (en el interior de edificios), en bidones metálicos o bolsas para material a granel. En algunas plantas, las diferentes materias primas se almacenan en recintos dedicados en las que la temperatura ambiente se mantiene constante a 20 °C. Las zonas de almacenamiento no tienen puntos de desagüe en el suelo. Sólo algunas materias primas (por ejemplo, ácido sulfúrico, ácido nítrico) se almacenan en depósitos de almacenamiento a nivel del suelo con contención secundaria.

6.4.2.3. SOLUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Las materias primas sólidas suelen disolverse en agua para preparar soluciones acuosas que contienen los componentes aniónicos y catiónicos del producto de las SIC explosivas.

Los productores de las SIC explosivas consideran información confidencial la proporción de agua utilizada para preparar las soluciones.

El ajuste del pH de la solución tiene una importancia significativa para la calidad del producto.

6.4.2.4. REACCIÓN

Las soluciones del material se conducen al reactor (tanque agitado de <100 litros de capacidad) a través de tuberías y válvulas en las que se agitan y calientan hasta aproximadamente 50 °C. Se añade dextrina para obtener un grano de producto con la forma y el tamaño adecuados (la dextrina es un producto natural

que actúa como modificador cristalino, pero sólo se utiliza en la producción de azida de plomo y no en la producción de otras SIC explosivas).

La reacción (a saber, la precipitación) se lleva a cabo añadiendo dos o más soluciones en agua al recipiente. La temperatura y el pH tienen una influencia significativa en las propiedades de calidad del explosivo fabricado (por ejemplo, tamaño y forma de las partículas). Debe evitarse la formación de agujas cristalinas demasiado sensibles a choques, sobre todo en la producción de azida de plomo. La reacción tiene lugar a presión atmosférica y lleva a la formación de una sal de plomo precipitada.

El tiempo de residencia en el reactor es de aproximadamente una hora. La temperatura se controla por calentamiento y/o refrigeración externos mediante envueltas o camisas. La agitación de la solución se detiene para permitir que los cristales explosivos (de unas $70\ \mu$ de tamaño) se asienten en la base del reactor. El licor madre (que contiene impurezas explosivas y nitrato de plomo sin reaccionar) se extrae del reactor y se conduce al tratamiento de aguas residuales. La temperatura y el tiempo de residencia en el reactor son factores importantes que deben controlarse para evitar la formación de cristales grandes difíciles de manipular incluso debajo del agua.

6.4.2.5. PURIFICACIÓN DE SIC EXPLOSIVAS

A las temperaturas de reacción, las SIC explosivas siempre son insolubles en el medio reactivo. Por esta razón, la purificación suele llevarse a cabo por separación de sólidos y líquidos, y se utiliza el lavado con agua y una pequeña cantidad de disolventes orgánicos (principalmente alcohol etílico) para reducir al mínimo las impurezas orgánicas. El polvo de SIC explosivas se carga en bandejas antiestáticas (que contienen menos de 5 kg de productos) y se transporta manualmente a la zona de secado. El agua residual (que contiene impurezas explosivas y nitrato de plomo sin reaccionar) procedente de la etapa de purificación se conduce al tratamiento de aguas residuales.

6.4.2.6. SECADO DE SIC EXPLOSIVAS

Por motivos de seguridad, la zona de secado está situada a cierta distancia de la sala del reactor (prevención del «efecto dominó»). La zona de secado consta de armarios empotrados en los que se depositan las bandejas. El aire caliente ($65 - 70\ ^\circ\text{C}$) circula por los armarios a través de las bandejas y seca los cristales húmedos (se utiliza vapor como fuente de energía para calentar el aire circulante). El tiempo de residencia en la zona de secado es de unas 72 horas. El aire caliente circula a un caudal bajo para evitar emisiones de partículas (del polvo de las SIC explosivas) en el secadero.

A menudo, las SIC explosivas (principalmente el trinitrorresorcinato) no se secan y se mezclan directamente con los otros productos en una etapa «húmeda».

6.4.2.7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE SIC EXPLOSIVAS

Los productos acabados se almacenan en edificios de almacenamiento equipados con protección eléctrica exhaustiva (por ejemplo, líneas a tierra) y sistemas de seguridad. Los edificios de almacenamiento están situados a distancias seguras de los demás edificios para evitar un «efecto dominó» en el caso de que se produzca una detonación accidental. También hay sistemas de seguridad en funcionamiento en cada zona de manipulación y almacenamiento, especialmente para impedir intrusiones. No existe ningún problema medioambiental especial con relación al almacenamiento de productos explosivos inorgánicos, siempre que se mantenga una temperatura máxima de 20 – 25 °C durante el almacenamiento.

6.4.3. Niveles de consumo y emisión

La Figura 6.22 presenta el consumo de materias primas, productos químicos auxiliares, energía y agua para la producción de las SIC explosivas. En la Figura 6.23 se muestran los vertidos al agua procedentes de la producción de SIC explosivas.

Figura 6.22. Consumo de materias primas, productos químicos auxiliares, energía y agua para la producción de SIC explosivas

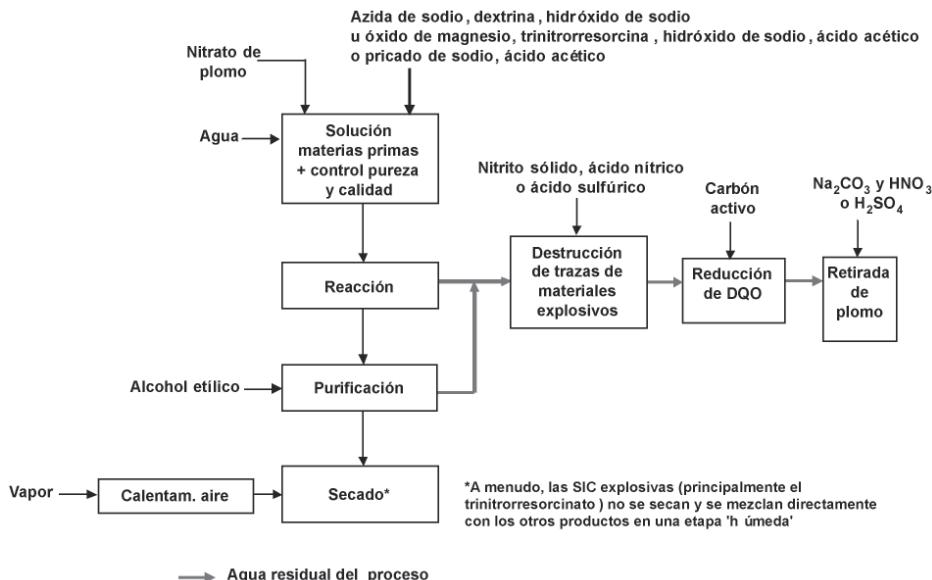
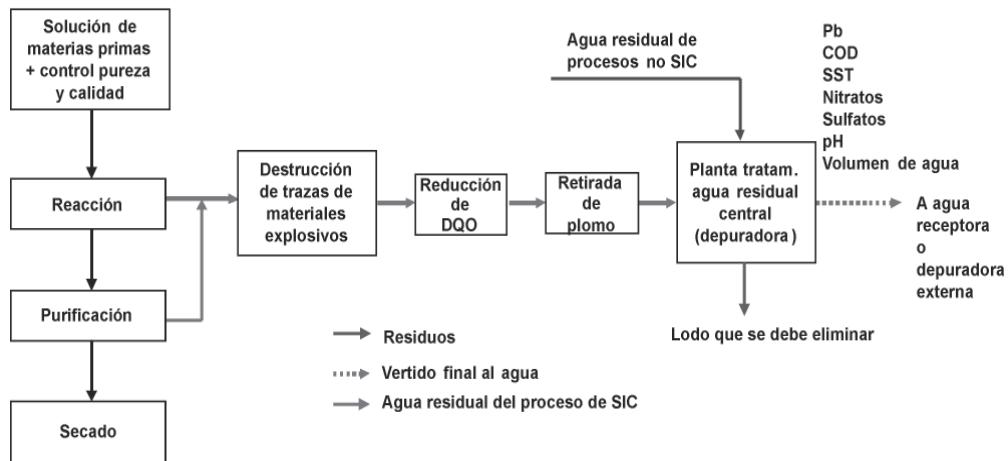


Figura 6.23. Vertidos al agua procedentes de la producción de SIC explosivas



La comprobación de la pureza y calidad de las materias primas es de primordial importancia para evitar la producción de productos defectuosos que tendrán que volver a procesarse (aumento del uso de energía) o gestionarse como residuos (aumento del volumen de residuos) y, por lo tanto, provocarán un aumento del impacto medioambiental global de la producción.

6.4.3.1. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES

La producción de **azida de plomo (LA)** necesita materias primas y productos químicos auxiliares, como se muestra en la Tabla 6.21.

La producción de **trinitrorresorcinato de plomo (LTNR)** necesita materias primas y productos químicos auxiliares, como se muestra en la Tabla 6.22.

La producción de **picrato de plomo (LP)** necesita materias primas y productos químicos auxiliares, como se muestra en la Tabla 6.23.

Tabla 6.21. Materias primas y productos químicos auxiliares utilizados en la producción de azida de plomo (LA)

Sustancia	Uso	Etapa de producción	Cantidad (en kg/kg de LA producidos)
Nitrato de plomo	Materia prima	Reacción	1,14
Azida de sodio	Materia prima	Reacción	0,45
Dextrina	Modificador cristalino	Mezcla con azida de sodio	Datos confidenciales
Hidróxido de sodio	Ajuste del pH	Reacción	Datos confidenciales
Alcohol etílico	Lavado de LA	Purificación	Datos confidenciales
Nitrito sódico	Destrucción química (es decir, reacción de oxidación) de las impurezas explosivas en el agua residual antes del tratamiento de eliminación de plomo	Tratamiento de aguas residuales	Datos confidenciales (el doble de la cantidad equimolecular de ácido nítrico en relación con el nitrito sódico)
Ácido nítrico	Destrucción química (es decir, reacción de oxidación) de las impurezas explosivas en el agua residual antes del tratamiento de eliminación de plomo	Tratamiento de aguas residuales	Datos confidenciales
Cloruro férrico	Verificar la conclusión de la reacción de oxidación	Tratamiento de aguas residuales	Rastros para análisis químico cualitativo de impurezas explosivas en el agua
Carbonato sódico	Precipitación de carbonato de plomo como parte del tratamiento de eliminación de plomo	Tratamiento de aguas residuales	{no se proporciona información}
Carbono activo	Adsorción de impurezas orgánicas coloreadas en el agua residual	Tratamiento de aguas residuales	{no se proporciona información}

Tabla 6.22. Materias primas y productos químicos auxiliares utilizados en la producción de trinitrorresorcinato de plomo (LTNR)

Sustancia	Uso	Etapa de producción	Cantidad (en kg/kg de LTNR producidos)
Nitrato de plomo	Materia prima	Reacción	0,74
Oxido de magnesio (o hidróxido magnésico)	Materia prima	Reacción	0,09
Trinitrorresorcina	Materia prima	Reacción	0,54
Hidróxido de sodio	Ajuste del pH	Reacción	Datos confidenciales
Ácido acético	Ajuste del pH	Reacción	Datos confidenciales
Alcohol etílico	Lavado del LTNR	Purificación	Datos confidenciales
Polisulfuros de sodio	Destrucción química de impurezas explosivas	Tratamiento de aguas residuales	0,27
Ácido clorhídrico	Destrucción química de impurezas explosivas	Tratamiento de aguas residuales	0,41
Hidróxido de sodio	Ajuste del pH	Tratamiento de aguas residuales	0,14
Ácido sulfúrico	Destrucción química de impurezas explosivas en el agua residual y precipitación de sulfato de plomo como parte del tratamiento de eliminación de plomo	Tratamiento de aguas residuales	Datos confidenciales
Carbono activo	Adsorción de impurezas orgánicas coloreadas en el agua residual	Tratamiento de aguas residuales	Aproximadamente 0,27

Tabla 6.23. Materias primas y productos químicos auxiliares utilizados en la producción de picrato de plomo (LP)

Sustancia	Uso	Etapa de producción	Cantidad (en kg/kg de LP producidos)
Nitrato de plomo	Materia prima	Reacción	{no se proporciona información}
Picrato de sodio	Materia prima	Reacción	{no se proporciona información}
Ácido acético	Ajuste del pH	Reacción	{no se proporciona información}
Agua	Lavado del LP	Purificación	{no se proporciona información}
Ácido sulfúrico	Destrucción química de impurezas explosivas en el agua residual	Tratamiento de aguas residuales	Datos confidenciales
Carbono activo	Adsorción de impurezas orgánicas coloreadas en el agua residual	Tratamiento de aguas residuales	Datos confidenciales

6.4.3.2. CONSUMO DE ENERGÍA

La electricidad es el principal tipo de energía utilizado para la producción de las SIC explosivas (por ejemplo, iluminación, impulsión de motores en bombas y agitadores).

El vapor se utiliza para el calentamiento del aire necesario para secar los cristales explosivos después de la etapa de purificación. También puede utilizarse para el calentamiento de los reactores. Calderas de gas natural u otros medios proporcionan el vapor.

En 2004, los niveles totales de consumo de una instalación española ascendieron a unos 103000 kWh (aproximadamente 6600 kWh por tonelada de SIC explosivas producida). El consumo en una instalación checa se estima en aproximadamente 12000 kWh por tonelada de SIC explosivas producida. Ello se debe a la energía extraordinaria que se necesita para operar con un evaporador utilizado después de la etapa de reacción con el fin de reutilizar el agua de las soluciones de materias primas (se recupera un 90% del agua).

6.4.3.3. CONSUMO DE AGUA

En la producción de SIC explosivas el agua se utiliza para:

- Poner las materias primas en las soluciones (véase la Sección 6.4.2.3).
- Lavar los cristales explosivos en la etapa de purificación (véase la Sección 6.4.2.5).
- Lavar los equipos.
- Refrigerar los equipos.

La proporción de agua utilizada en las soluciones de materias primas es información confidencial de los productores de las SIC explosivas. El agua utilizada para limpiar los equipos de producción se recoge y envía al tratamiento de aguas residuales para eliminar el contenido de plomo. Se utilizan cantidades considerables de agua para mantener húmedos los suelos de los edificios de producción con el fin de evitar chispas causadas por la electricidad estática.

El consumo estimado de agua dulce en una instalación española representa aproximadamente 500 m³/t de las SIC explosivas producidas [23, Castresana, 2004]. El consumo estimado de agua dulce en una planta checa es aproximadamente un 10% del de la instalación española (a saber, 50 m³/t de las SIC explosivas) debido a la reutilización del agua que sale de un evaporador después de la etapa de reacción.

En el caso de instalaciones con gran capacidad de producción y/o cuando lo justifique la proporción entre coste de la energía/coste del agua, el consumo de agua puede reducirse a 50 m³/t de SIC explosivas producidas poniendo en práctica unos dispositivos de reciclado apropiados (véase la Sección 6.4.4.2).

6.4.3.4. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

La producción de SIC explosivas no genera emisiones significativas a la atmósfera.

Únicamente en las etapas de purificación y secado surgen emisiones fugitivas muy peñas de alcohol etílico. Además, se originan emisiones de poco volumen en la destrucción química de los residuos explosivos disueltos contenidos en el agua residual. Las emisiones fugitivas a la atmósfera no se recogen ni tratan debido a su volumen tan reducido y el impacto insignificante en el medio ambiente.

También cabe destacar que se puede emitir CO₂ a la atmósfera durante el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la producción de las SIC explosivas (se produce dióxido de carbono en la reacción entre el agua residual ácida y la solución de carbonato sódico).

6.4.3.5. VERTIDOS AL AGUA

El agua residual procedente de la producción de las SIC explosivas (que se origina en las etapas de reacción y purificación) contiene principalmente sales solubles de plomo (a saber, nitrato de plomo) y materias orgánicas coloreadas (a saber, restos de trinitrorresorcina, parcialmente soluble en agua).

El agua residual suele tratarse en varias etapas; se llevan a cabo etapas de pretratamiento en la instalación de las SIC, a las que le sigue el tratamiento en una depuradora central (véase Figura 6.23).

La primera operación de las etapas de pretratamiento consiste en destruir los restos de materiales explosivos (LA, LTNR o LP) contenidos en el agua residual mediante ácido nítrico o nitrito sódico (en la producción de LA) o bien ácido sulfúrico (en la producción de LTNR).

Se utiliza carbón activo para la adsorción de impurezas orgánicas (por ejemplo, trinitrorresorcina) responsable del color amarillo/verde del agua residual. Después de un tratamiento de estas características, la demanda química de oxígeno se reduce a <600 mg O₂/l.

El plomo contenido en el agua residual se precipita al añadir aniones de sulfato y/o de carbonato para obtener sulfato de plomo sólido y/o carbonato de plomo (este tratamiento se lleva a cabo junto con la destrucción de los restos de material explosivo en la producción de LTNR). La eficiencia del pretratamiento de eliminación de plomo que se utilizó en una instalación española se muestra en la Tabla 6.24.

Tabla 6.24. Eficiencia del pretratamiento de eliminación de plomo en la producción de azida de plomo y trinitrorresorcinato de plomo en una instalación española

Tipo de producción	Concentración total de plomo en el agua residual antes del pretratamiento	Concentración total de plomo en el agua residual después del pretratamiento y antes de la descarga a una depuradora central in situ
Producción de azida de plomo	1500 mg/l	5 mg/l
Producción de trinitrorresorcinato de plomo	30000 mg/l	15 mg/l

En la producción de azida de plomo y de trinitrorresorcinato de plomo en una instalación española, el efluente de agua (tras la eliminación de los restos de materiales explosivos, la eliminación de plomo y el tratamiento de carbón activo) se recoge y trata en una planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP, del inglés Waste Water Treatment Plant) o depuradora central in situ junto con otras aguas residuales procedentes de actividades industriales que no se contemplan en este documento. Esta depuradora central no tiene tratamiento biológico. Los lodos de esta depuradora central se envían a un contratista externo autorizado a gestionar este tipo de residuos. La empresa tiene intención de enviar, en un futuro próximo, el efluente que sale de la depuradora central in situ a una planta de tratamiento de aguas residuales municipal que incluye etapas aeróbicas y anaeróbicas y aplica nitrificación/desnitrificación.

También se utiliza la neutralización para ajustar el pH del efluente final antes de la descarga al río o al sistema de alcantarillado municipal.

Debido al valor bastante constante de los parámetros en el efluente de agua, la monitorización de dicho efluente (antes y después de la depuradora central in situ) se lleva a cabo cada dos semanas en la planta española.

En la Tabla 6.25 consta la concentración típica de contaminantes en las aguas residuales a su salida de la depuradora central de la planta española.

Tabla 6.25. Concentración típica de contaminantes en las aguas residuales a su salida de la depuradora central

Contaminantes	Concentración (mg/l)
DQO	200
Nitratos	1900 como NO_3^-
pH	5,5 – 9,5
Plomo soluble	0,05 – 0,5
Sulfatos	900 como SO_4^{2-}
SST	150

Los niveles de vertidos al agua anuales y los valores de concentración de los contaminantes en el agua descargada en diferentes instalaciones de Europa se indican en la Tabla 6.26 y la Tabla 6.27.

Tabla 6.26. Niveles de vertidos al agua anuales en la producción de SIC explosivas

Planta de referencia	SST	DQO	Nitratos (como NO_3^-)	Sulfatos (como SO_4^{2-})	Pb	Volumen de agua residual tratada	Observaciones
	kg/t de producto final				g/t	$\text{m}^3/\text{año}$	
Planta A ¹	75	100	950	450	250	12500	Basado en 25 t/año de producto final
Planta B	3,2	310	1400		0,2		
Planta C							
Planta D							
Planta E							
Planta F							

¹ Datos medioambientales estimados a partir de un análisis químico interno

Tabla 6.27. Valores de concentración de contaminantes en los vertidos al agua en la producción de SIC explosivas

Planta de referencia	SST	DQO	Nitratos (como NO_3^-)	Sulfatos (como SO_4^{2-})	Pb	Volumen de agua residual tratada	Observaciones
	mg/l				mg/l	m^3/h	
Planta A ¹	150	200	1900	900	0,5	3,5	Volumen basado en dos turnos al día
Planta B	11	1.000	100		0,7		
Planta C			55				
Planta D							
Planta E							
Planta F							

¹ Datos medioambientales estimados a partir de un análisis químico interno

6.4.3.6. RESIDUOS SÓLIDOS

En el proceso de producción de **azida de plomo**, se originan residuos procedentes de los lodos del tratamiento de aguas residuales (que contienen carbonato de plomo – PbCO_3) que se recogen, se vierten en bidones metálicos y se eliminan por parte de un contratista externo.

En el proceso de producción de **trinitrorresorcinato de plomo**, se originan residuos procedentes de los lodos del tratamiento de aguas residuales (que contienen sulfato de plomo – PbSO_4) que se recogen y eliminan por parte de un contratista externo.

Otro tipo de residuos está compuesto por materiales sólidos contaminados con restos de explosivos.

La Tabla 6.28 muestra la cantidad considerada típica de residuos sólidos generados en una instalación española en 2003.

Tabla 6.28. Cantidad considerada típica de residuos sólidos generados en una instalación española

Tipo de residuos sólidos	Cantidad generada en 2003
Residuos sólidos con restos de explosivos (por ejemplo, procedentes del lavado a mano de los equipos de producción)	63 kg/t de explosivos
Lodo que contiene PbCO_3	350 kg/t de azida de plomo
Lodo que contiene PbSO_4	210 kg/t de TNR de plomo
Carbón activo consumido	270 kg/t de TNR de plomo

6.4.3.7. OLORES Y EMISIONES SONORAS

Las principales fuentes de ruido en instalaciones de SIC explosivas son motores, bombas y ventiladores. Los olores no son un problema en las instalaciones que fabrican SIC explosivas.

6.4.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD

Durante muchos años prácticamente todas las instalaciones de producción de explosivos de Europa han realizado estudios exhaustivos y pormenorizados sobre los peligros y valoraciones de los riesgos.

La valoración de riesgos y las estrategias de prevención de pérdidas afectan considerablemente a las sugerencias de cambios de procesos y/o equipos. Por ejemplo, la selección de nuevas materias primas o de nuevas fórmulas debe llevarse a término cuidadosamente y haciendo hincapié en mantener la seguridad de los procesos en el nivel técnico más alto posible. Durante la fabricación de explosivos incluso los accidentes poco importantes pueden provocar una explosión masiva.

Por ello, los aspectos de seguridad son argumentos convincentes para determinar las MTD en la producción de explosivos.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, a continuación se detallan las técnicas que deben considerarse al determinar las MTD para la producción de las SIC explosivas.

6.4.4.1. ELIMINACIÓN DEL PLOMO DE LAS AGUAS RESIDUALES POR PRECIPITACIÓN CON ÁCIDO SULFÚRICO O CARBONATO DE SODIO (TÉCNICA DE PRETRATAMIENTO)

Descripción

El nitrato de plomo se utiliza como materia prima en soluciones acuosas para la producción de las SIC explosivas. Puesto que no todo el nitrato de plomo se consume en la reacción, parte de él se transporta al agua residual tras la separación de los cristales (insolubles) de las SIC explosivas y es necesario eliminarlo.

La eliminación de plomo se realiza por precipitación en forma de dos posibles sales inorgánicas:

- sulfato de plomo – PbSO_4
- carbonato de plomo – PbCO_3 .

Estas dos sustancias son sales moderadamente solubles y se separan fácilmente del agua residual debido a la gravedad. Un contratista se encarga de eliminar los residuos. La recuperación del plomo de estas sales es posible en industrias metalúrgicas que trabajan con plomo.

La simple adición de ácido sulfúrico o carbonato de sodio a los licores madre da paso a la reacción de precipitación si se ajusta adecuadamente el pH del medio de reacción.

Esta técnica no se utiliza por separado, sino en el pretratamiento.

Ventajas medioambientales logradas

- reducción de la concentración de plomo en el agua residual vertida;
- posibilidad de recuperación del plomo en hornos de la industria metalúrgica.

Efectos cruzados

- consumo de ácido sulfúrico (H_2SO_4);
- consumo de carbonato sódico (Na_2CO_3);
- los precipitadores deben eliminarse como lodo.

Datos operativos

La eficiencia del sistema de pretratamiento de eliminación de plomo de una instalación española se muestra en la Tabla 6.29.

Tabla 6.29. Eficiencia del sistema de pretratamiento de eliminación de plomo en una instalación española

Tipo de producción	Concentración total de plomo en el agua residual antes del pretratamiento	Concentración total de plomo en el agua residual después del pretratamiento y antes de la descarga a una depuradora central in situ
Producción de azida de plomo	1500 mg/l	5 mg/l
Producción de trinitrorresorcinato de plomo	30000 mg/l	15 mg/l

La concentración de plomo resultante después del pretratamiento se ve limitada por una serie de factores, como el pH, el proceso de producción, así como la

solubilidad del PbCO_3 (si el agente de precipitación que se usa es carbonato sódico) o la solubilidad del PbSO_4 (si el agente de precipitación que se usa es ácido sulfúrico).

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

El ácido sulfúrico y el carbonato sódico son sustancias químicas baratas y disponibles en todo el mundo.

Impulsores de la implementación

- Reducción de los vertidos de metales pesados al agua.

Ejemplos de plantas

- Planta UEB en Galdácano, España.

Documentación de referencia

23rd International Annual Conference of ICT 1992, «Waste management of energetic materials and polymers», J-L. Chen, S-J. Jing, C-H Lin, «Elimination of detrimental constituents from plant effluents resulting from the manufacture of basic lead styphnate», 30 de junio – 3 de julio de 1992, Karlsruhe, Alemania.

6.4.4.2. ELIMINACIÓN DE LOS RESTOS DE MATERIALES EXPLOSIVOS QUE CONTIENEN PLOMO PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UNA FASE DE NEUTRALIZACIÓN

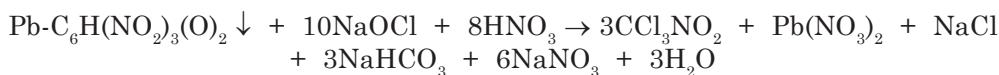
Descripción

Es posible utilizar una fase de neutralización para tratar las aguas residuales cargadas de restos de materiales explosivos que contienen plomo procedente de las etapas de reacción y purificación del proceso de producción de las SIC explosivas. La fase de neutralización consta de los siguientes elementos principales:

- Depósitos de neutralización.
- Evaporador/concentrador (para el tratamiento de líquidos a base de agua).
- Prensa de filtro de cámara.

La eliminación de los restos de materiales explosivos que contienen plomo presentes en las aguas residuales se lleva a cabo en dos etapas.

Los restos de materiales explosivos que contienen plomo presentes en las aguas residuales se descomponen en los depósitos de neutralización mediante métodos químicos en sustancias (sales) no explosivas. En el caso del trinitrorresorcinato de plomo, la descomposición tiene lugar según la siguiente reacción:



Los gases residuales procedentes del proceso de descomposición (que contienen azida de hidrógeno, cloro y cloropicrina) se tratan en un filtro de carbón. El filtro de carbón se regenera externamente por parte de una empresa especializada. El lodo (que contiene la mayoría del plomo) procedente de los depósitos de neutralización se bombea a la prensa de filtro de cámara.

La parte líquida, que tiene sustancias con restos de plomo, se bombea al evaporador/concentrador y éste utiliza el efecto combinado de las tecnologías de vacío y de bomba de calor para lograr que los líquidos a base de agua hiervan a una temperatura baja (20 – 30 °C). En una planta de la República Checa, un contratista externo gestiona los residuos sólidos del evaporador y los envía a una planta de eliminación segura. El residuo líquido concentrado se mezcla con las otras aguas residuales (que no son de SIC) de la planta, y el efluente de agua total se trata en una depuradora municipal (externa).

Los siguientes son posibles productos de salida de la fase de neutralización:

- Gas de azida de hidrógeno (HN_3) (que se absorbe en un filtro de carbón).
- Cloro (que se absorbe en un filtro de carbón).
- Cloropicrina (que se absorbe en un filtro de carbón).
- Agua limpia (que se devuelve a producción).
- Residuos líquidos concentrados (para eliminar).

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la concentración de plomo en el agua residual vertida.
- Reducción del consumo de agua mediante la reutilización del agua depurada en el proceso de producción.

Efectos cruzados

- Emisiones a la atmósfera (azida de hidrógeno, cloro y cloropicrina).
- Generación de residuos líquidos concentrados que deben eliminarse.
- Generación de residuos sólidos que deben eliminarse.
- Consumo de electricidad (potencia instalada: 35 kW, consumo: 0,177 kWh/l) y aire comprimido.
- Consumo de productos químicos auxiliares (H_2SO_4 , NaNO_2 , NaOCl , NaOH).

Datos operativos

Los datos operativos que se ofrecen en esta sección proceden de un ejemplo de planta mencionado a continuación.

Se requiere un nivel de mantenimiento muy bajo. La capacidad de tratamiento es de 3000 l/día. Los residuos líquidos concentrados que salen de la fase de neutralización suman 120 l/día. El nivel de ruido en la fase de neutralización es aproximadamente de 74 dB.

Las especificaciones técnicas del evaporador utilizado en el ejemplo de planta, así como el balance de masas diario se indican en la Tabla 6.30 y la Tabla 6.31 respectivamente.

Tabla 6.30. Especificaciones técnicas del evaporador

Parámetro	Valor	Observaciones
Potencia de entrada	31 kW	
Producción de destilado – rendimiento	175 l/h	Teórico
Producción de destilado – rendimiento	155 l/h	Real
Producción de concentrado líquido	15 l/h	
Proporción de evaporación (destilado de agua limpia:concentrado)	9:1	
Consumo específico	0,177 kWh/l	

Tabla 6.31. Ejemplo de un balance de masas diario

Parámetro	Valor
Entrada de aguas residuales en el evaporador/concentrador	4080 l
Salida de agua del evaporador/concentrador que se devuelve al proceso	3720 l
Residuo líquido concentrado	360 l
Residuo sólido de la prensa de filtro	4 kg

Aplicabilidad

Esta técnica se puede aplicar al tratamiento de aguas residuales procedentes de la producción de azida de plomo, trinitrorresorcinato de plomo y picrato de plomo.

El uso de un evaporador/concentrador es viable, desde el punto de vista económico, si el coste del suministro de agua es alto y el coste del suministro de electricidad es bajo: si el coste de 177 kWh es mayor que el coste de 1 m³ de agua, la técnica no es económicamente viable.

La aplicabilidad también depende del tamaño de la instalación: para unidades de producción pequeñas, el coste del edificio y del evaporador/concentrador puede resultar demasiado elevado, independientemente de los costes de suministro de agua y electricidad.

Economía

- Unos 250.000 euros para la compra y el funcionamiento del equipo, sin el edificio.

Ejemplos de plantas

- Planta AUSTIN, República Checa.

6.4.4.3. REDUCCIÓN DE DQO MEDIANTE EL TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVO

Descripción

Se puede lograr una reducción significativa de la demanda química de oxígeno (DQO) segregando los flujos de aguas residuales con cargas altas de demanda química de oxígeno y tratándolos posteriormente con carbón activo antes de verterlos a la planta de tratamiento de aguas residuales central. El uso de carbón activo también permite eliminar las sustancias de coloración del efluente de aguas residuales que se trata.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción efectiva de la demanda química de oxígeno liberada en las aguas receptoras.
- Eliminación de sustancias de coloración en el agua residual.

Efectos cruzados

- Consumo de carbón activo.

Datos operativos

Después del tratamiento con carbón activo, la demanda química de oxígeno del efluente de agua se reduce de >1500 mg a <600 mg O₂/l.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

El carbón activo es un producto bastante barato y disponible en todo el mundo. El coste de la regeneración del carbón o de su eliminación (por parte de un contratista de eliminación de residuos) es significativo en el caso de una gran carga de demanda química de oxígeno.

Impulsores de la implementación

- Reducción de los niveles de demanda química de oxígeno y eliminación de las sustancias de coloración de los efluentes de aguas residuales.

Ejemplos de plantas

- Planta UEB en Galdácano, España.

Documentación de referencia

Véase la Sección 3.3.4.2.9 sobre técnicas de adsorción en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

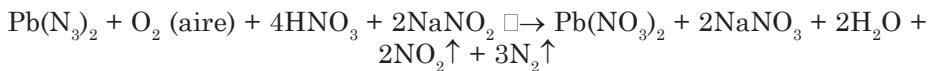
6.4.4.4. DESTRUCCIÓN DE LAS IMPUREZAS EXPLOSIVAS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES

Descripción

En la producción de azida de plomo se utilizan pequeñas cantidades de ácido nítrico y nitrito sódico (NaNO₂, sólido) para la destrucción química de las impurezas explosivas.

rezas explosivas del agua residual antes del tratamiento de eliminación de plomo.

La reacción de esta destrucción química de los explosivos es la siguiente:



Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de sustancias químicas (tóxicas y) explosivas (azida de plomo) del agua residual.

Efectos cruzados

- Consumo de nitrito sódico y ácido nítrico.
- Emisión de óxidos de nitrógeno.

Datos operativos

Las cantidades de ácido nítrico y nitrito sódico se añaden en exceso para garantizar la destrucción total de restos de azida de plomo. Se realiza una prueba de cloruro férrico para asegurarse de que no haya sustancias explosivas presentes en el efluente de agua después del tratamiento.

Aplicabilidad

- Generalmente aplicable en plantas productoras de azida de plomo.

Economía

- Coste relativamente bajo de las sustancias químicas y el equipo (por ejemplo, reactor con tanque agitado).

Impulsores de la implementación

- Se evitan accidentes de detonación que pueden originar efectos medioambientales.

Ejemplos de plantas

- Planta UEB, Galdácano, España.
- Austin Detonator, Vsetin, República Checa.

Documentación de referencia

Tadeusz Urbanski, Chemistry and Technology of Explosives, vol. 3, Pergamon Press, Oxford, RU (1985).

Fedoroff, B.T., Encyclopedia of Explosives and Related Items, vol.1, Picatinny Arsenal, Dover, NJ, EE.UU. (1960).

6.4.4.5. PROTECCIÓN DEL SUELO

Descripción

Debido a que las instalaciones de SIC explosivas representan una posibilidad de contaminación para el suelo, las aguas superficiales o las aguas subterráneas, se diseñan, crean, utilizan y mantienen de forma que no se produzcan derrames. Son estancas, estables y suficientemente resistentes frente a posibles tensiones mecánicas, térmicas o químicas. Las fugas se detectan rápidamente y con fiabilidad.

Las fugas de sustancias se retienen, tratan y eliminan de forma segura. Esto se lleva a cabo mediante la aplicación de un área de retención impermeable y estable según la cantidad de sustancia que se podría derramar antes de la aplicación de otras medidas. Además, se pueden emplear equipos de doble pared con detección de fugas.

En el BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003] se describen las técnicas empleadas para prevenir emisiones al medio ambiente debidas al almacenamiento y al manejo de sólidos, líquidos y gases licuados.

Ventajas medioambientales logradas

- Prevención de la contaminación del suelo, las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Efectos cruzados

- Sin problemas.

Datos operativos

- Como indicador de referencia se suele emplear un volumen de retención de al menos el 110% de la capacidad del depósito o bidón más grande de la zona contribuyente y al menos un 25% de la capacidad total del volumen almacenado/manipulado.
- Prueba y demostración de la integridad y la estanqueidad de todos los límites de estructura y su resistencia a la penetración de agua u otras sustancias.
- Carga y descarga de los materiales que sólo se lleva a cabo en las áreas designadas que están protegidas contra fugas. A la espera de su eliminación, todos los materiales se recogen y almacenan en las áreas designadas que están protegidas contra fugas.
- Todos los sumideros de bomba u otras cámaras de la planta de tratamiento donde se pueden producir derrames están equipados con alarmas activadas por los altos niveles de líquido o el personal inspecciona los sumideros de bomba regularmente.
- Establecimiento y realización de un programa para la prueba e inspección de los depósitos y las tuberías.
- Realización de inspecciones de fugas en todas las bridas y válvulas de las tuberías que se emplean para el transporte de materiales que no sean agua. Se mantiene un registro de estas inspecciones.
- Sistema de captación para recoger las fugas de las bridas y válvulas en las tuberías que se emplean para el transporte de materiales que no sean agua, excepto cuando la construcción de las bridas o válvula sea técnicamente estanca.
- Suministro adecuado de barreras de contención y material absorbente adecuado.
- Prueba de todos los diques una vez cada tres o cinco años.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Impulsores de la implementación

- Prevención de la contaminación del suelo, las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Ejemplos de plantas

- Planta UEB en Galdácano, España.

Documentación de referencia

BREF OFC [18, European IPPC Bureau, 2004].

BREF ESB [8, European IPPC Bureau, 2003].

6.4.5. Mejores técnicas disponibles

Según la introducción de las MTD del Capítulo 5 y teniendo en cuenta que en dicho capítulo también se definen las MTD genéricas para el sector de las SIC, esta sección presenta conclusiones específicas de las MTD que pueden aplicarse en general a la producción de especialidades explosivas inorgánicas. Por lo tanto, las MTD para la producción de SIC explosivas son la combinación de los elementos genéricos presentados en el Capítulo 5 y los elementos específicos que se indican en esta sección.

La valoración de riesgos y las estrategias de prevención de pérdidas afectan considerablemente a las sugerencias de cambios de procesos y/o equipos de producción. Por ejemplo, la selección de nuevas materias primas o de nuevas fórmulas debe llevarse a término cuidadosamente y haciendo hincapié en mantener la seguridad de los procesos en el nivel más alto posible. En las instalaciones de fabricación de explosivos incluso los accidentes poco importantes pueden provocar una explosión masiva que puede afectar a casi toda la instalación de manera prácticamente instantánea. Por ello, los aspectos de seguridad pueden ser argumentos convincentes para determinar las MTD en la producción de las SIC explosivas [15, Castresana, 2004].

Medidas de seguridad

Las MTD que se presentan a continuación se aplican sin perjuicio de lo estipulado en la Directiva Seveso II (Directiva 96/82/CE) en particular.

Para evitar que se produzca un «efecto dominó» en caso de explosión, constituye una MTD:

6.4.1 separar los edificios de producción y almacenamiento dentro del emplazamiento de producción. (Véanse las secciones 6.4.2.6 y 6.4.2.7).

Constituye una MTD:

6.4.2 reducir el riesgo de explosiones de origen eléctrico almacenando las SIC explosivas en edificios provistos de sistemas de seguridad y protección eléctrica (líneas a tierra). (Véase la Sección 6.4.2.7).

Prevención de la contaminación del suelo

Emisiones a la atmósfera.

Para evitar emisiones de partículas a la atmósfera durante el secado de las SIC explosivas, constituye una MTD:

- 6.4.3 hacer circular aire caliente en el secadero con un caudal que impida que las partículas de las SIC explosivas se arrastren con el flujo de aire (véase la Sección 6.2.4.6).

Tratamientos de aguas residuales

Constituye una MTD:

- 6.4.4 recoger todas las aguas de proceso usadas (es decir, licor madre, agua de lavado, agua de limpieza) y enviarlas al tratamiento.
- 6.4.5 antes del tratamiento de eliminación de plomo (véase la MTD 6.4.7), pretratar el agua residual bajo condiciones ácidas (por ejemplo, utilizando ácido sulfúrico o ácido nítrico) para descomponer químicamente (es decir, reacción de oxidación) los restos de sustancias explosivas contenidos en el agua residual (véase la Sección 6.4.4.4).
- 6.4.6 reducir las impurezas orgánicas del agua residual mediante carbón activo (véase la Sección 6.4.4.3).
- 6.4.7 minimizar la cantidad de plomo del agua residual por precipitación con aniones de sulfato y/o carbonato (véase la Sección 6.4.4.1).
- 6.4.8 reciclar el agua residual en el proceso de producción, si la escala de producción y/o la proporción entre coste de energía/coste de agua lo justifican, mediante un evaporador/concentrador (véase la Sección 6.4.4.2) y lograr un consumo de agua de proceso $\leq 50 \text{ m}^3/\text{t}$ de las SIC explosivas (véase la Sección 6.4.3.3).

Una vez que el agua residual se ha pretratado como se indica en las MTD 6.4.5 a MTD 6.4.8, constituye una MTD:

- 6.4.9 enviar el agua residual a una depuradora central para su tratamiento. Si la depuradora central no puede hacer un tratamiento de desnitrificación (y de nitrificación en caso necesario), es una MTD tratar posteriormente las aguas residuales en una depuradora biológica (en el propio emplazamiento o fuera de él, por ejemplo en una depuradora municipal) con desnitrificación (y nitrificación en caso necesario).

Manipulación de residuos sólidos

Constituye una MTD:

- 6.4.10 recuperar el plomo contenido en los residuos sólidos (lodo del tratamiento de agua residual) en industrias metalúrgicas que trabajan con plomo

(véase la Sección 6.4.4.1) o eliminar adecuadamente los residuos sólidos que contienen plomo (véase la Sección 6.4.3.6).

6.5. Cianuros

[16, CEFIC Cyanide Sector and Working Group, 2004] [1, Ullmann, 2001]

En el ámbito de aplicación de este documento, «cianuros» significa compuestos de especialidades químicas inorgánicas que contienen el ion cianuro (CN^-). No se incluye el cianuro de hidrógeno (HCN), llamado también ácido cianhídrico.

Esta sección únicamente se centra en las sustancias hidrosolubles cianuro de sodio (NaCN) y cianuro de potasio (KCN). Las demás sales inorgánicas de cianuro no se estudian debido a su escaso volumen de producción registrado.

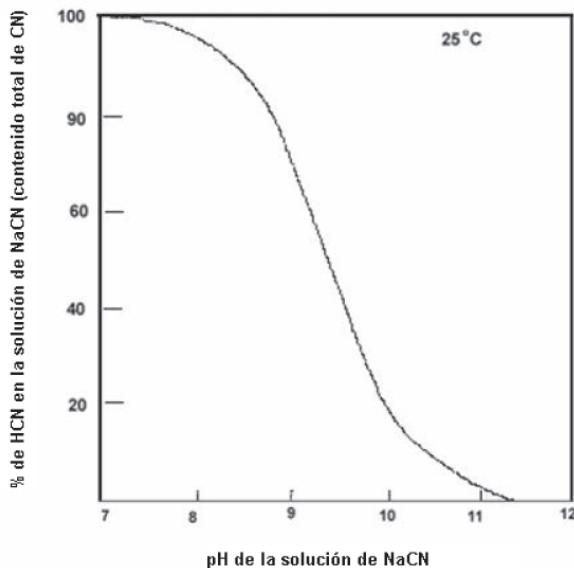
6.5.1. Información general

El NaCN y el KCN puros son sólidos cristalinos con apariencia blanca o blanquecina. Son inodoros cuando están secos y presentan un olor a almendras amargas si se exponen a la humedad. Estos cianuros se llaman con frecuencia «cianuros alcalinos» porque hacen que el agua tenga un pH alcalino si se disuelven en ella. Ello se debe al equilibrio hidrolítico ($\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCN} + \text{OH}^-$), en el que se forman alcalinos libres a partir de estas sales hechas con un ácido débil y una base fuerte.

Estos cianuros sólidos pueden disolverse fácilmente en agua para preparar soluciones de cianuro que contienen aproximadamente un 30% de NaCN y aproximadamente un 40% de KCN a 20 °C.

Cuando estos cianuros entran en contacto con ácidos (débiles o fuertes) o cuando se disuelven en agua, se puede formar y liberar HCN . Esto se aplica tanto a los cianuros disueltos como a los sólidos. La liberación de HCN está impulsada por el pH. La curva de la Figura 6.24 describe el comportamiento básico de una solución de cianuro.

Cuando los cianuros sólidos y las soluciones de cianuro incoloras entran en contacto con ácidos, pueden cambiar su color blanco por cualquier color desde el amarillo claro al marrón oscuro. La intensidad del cambio de color depende de una variedad de parámetros. Este comportamiento se debe a la reacción de polimerización del HCN . Puesto que este tipo de comportamiento afecta a la calidad de los productos (soluciones de cianuro —especialmente durante la producción— y también cianuros sólidos), es necesario estabilizar los cianuros añadiendo un exceso de álcali (el álcali utilizado suele ser NaOH o KOH).

Figura 6.24. Comportamiento básico de una solución de cianuro

En este sentido, los cianuros alcalinos son sensibles al contacto con aire húmedo que contenga dióxido de carbono (que es un ácido débil en una solución acuosa). Sólo si tiene lugar una estabilización adicional con un álcali, el ácido se neutraliza para formar carbonato y el cianuro queda protegido de la descomposición por el ácido.

El cianuro sódico se comercializa en briquetas, en forma de gránulos o polvo, o como solución acuosa. El cianuro de potasio se comercializa en briquetas o en forma de gránulos o polvo.

6.5.1.1. USOS Y MERCADOS

La mayor parte de la producción **mundial** de cianuro se utiliza para la aplicación de cianuro sódico en la industria minera del oro para extraer el oro de sus menas (aproximadamente un 70% del total de cianuro sódico producido se usa con este fin). El oro, en su forma elemental, es muy estable y no reacciona fácilmente con una serie de sustancias químicas incluso muy agresivas. Normalmente, el oro sólo se puede hacer reaccionar y solubilizar en agua (sales de oro solubles) en presencia de un oxidante fuerte con un agente complejante. En la industria minera del oro, los cianuros se utilizan como agentes complejantes.

Las otras dos aplicaciones más importantes de los cianuros **en todo el mundo** son la síntesis química de compuestos orgánicos e inorgánicos (por ejemplo, para

producir productos farmacéuticos, aditivos alimentarios, aditivos para nutrición animal, pigmentos, agentes complejantes) y la galvanoplastia de superficies metálicas (por ejemplo, cinc, oro, plata). En esta última aplicación se prefiere el cianuro de potasio, especialmente para la deposición de oro y plata.

En Europa, la aplicación más importante de los cianuros se encuentra en la industria de síntesis química. La segunda aplicación más importante en Europa es para la galvanoplastia de superficies metálicas junto con el endurecimiento de metales. El uso de cianuros en la industria minera sólo aparece en tercera posición.

6.5.1.2. CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE CIANURO/ESPECIFICACIONES

La calidad de los cianuros depende de las impurezas de metales pesados que se originan a partir de las materias primas NaOH o KOH. Entre los usuarios de cianuro, el sector de la galvanoplastia tiene los requisitos más rigurosos, por lo que establece las normas de calidad en cuanto a las impurezas de metales pesados en los cianuros. La industria minera podría aceptar cianuros con un mayor contenido en impurezas de metales pesados, pero no recibe una especificación distinta a la del sector de la galvanoplastia. Todos los usuarios finales aplican las mismas especificaciones de alta calidad a los cianuros.

Aparte de los metales pesados, los cianuros pueden contener impurezas originadas en su proceso de producción. Las principales impurezas que pueden generarse en el proceso de producción de cianuro son el cianato (OCN^-), el formiato (HCOO^-) y el carbonato (CO_3^{2-}). Sin embargo, en términos generales, ninguno de ellos es crítico de ningún modo para las aplicaciones de cianuro (con mucha frecuencia, estas impurezas se forman de todos modos en los procesos de aplicación). El carbonato procede principalmente del contacto de un exceso de álcali con el dióxido de carbono del aire. La hidrólisis de cianuro a altas temperaturas (por ejemplo, en la etapa de secado del proceso de producción, véase la Sección 6.5.2.6) conduce a la formación de formiato y amoníaco (NH_3). El cianato puede formarse a causa de los procesos de oxidación. El amoníaco también puede considerarse una posible impureza, especialmente en soluciones tras un tiempo de almacenamiento prolongado a temperaturas elevadas. Si tiene lugar una hidrólisis lenta en material (húmedo) sólido, el amoníaco formado puede liberarse a la fase gaseosa alrededor del material, pero normalmente no se genera/concentra en el material propiamente dicho. Debido a estas reacciones que conducen a la formación de HCN y/o NH_3 , las soluciones de cianuro que se comercializan pueden tener un olor a HCN y/o NH_3 (principalmente tras un largo tiempo de almacenamiento en condiciones no idóneas). Los cianuros completamente secos normalmente no huelen a ninguna de estas especies, ya que es necesaria la presencia de agua para cualquiera de las reacciones de descomposición que conducen a la liberación de HCN y/o NH_3 .

Las especificaciones de producto típicas del cianuro líquido constan en la Tabla 6.32.

Tabla 6.32. Especificaciones de producto típicas del cianuro líquido

Tipo de solución	Especificaciones
Solución de cianuro sódico	NaCN 30% +/- 0,5% NaOH 0,5% +/- 0,25%
Solución de cianuro de potasio	KCN 40% +/- 0,5% KOH 0,5% +/- 0,25%

La especificación de producto típica del cianuro sólido es un mínimo del 98% pura (máximo un 2% de agua).

6.5.1.3. TOXICIDAD

Una característica importante de los cianuros es su gran toxicidad para la mayoría de los seres vivos a través de todas las vías de exposición (es decir, ingestión, inhalación, absorción dérmica).

Los cianuros forman una serie de complejos de cianuros metálicos, la mayoría de los cuales tienen una toxicidad similar al cianuro libre propiamente dicho.

6.5.1.4. PRODUCCIÓN DE CIANUROS EN EUROPA Y EN TODO EL MUNDO

En Europa y en todo el mundo, los cianuros alcalinos más importantes en cuanto a volúmenes de producción, son el **cianuro sódico** (NaCN) y el **cianuro de potasio** (KCN).

La producción mundial actual de cianuro sódico es alrededor de 500.000 toneladas (base seca) al año. La cantidad total de cianuro de potasio producido en todo el mundo es considerablemente más baja que la producción de cianuro sódico.

En Europa, el NaCN y el KCN se fabrican en menos de una docena de emplazamientos y cada uno de ellos produce entre 8.000 y 50.000 toneladas (base seca) de estos productos al año. Una cantidad significativa de estas sustancias químicas se produce para uso cautivo, lo que significa que los cianuros se utilizan como intermediarios en la producción de otras sustancias en la planta. Sin embargo, la mayor cantidad de NaCN y KCN se produce para venta en Europa y para exportación fuera de Europa.

Se pueden utilizar las mismas instalaciones de producción para la fabricación de NaCN y KCN.

Los emplazamientos en los que se produce **cianuro sódico** y **cianuro de potasio** en Europa constan en la Tabla 6.33.

Tabla 6.33. Emplazamientos en los que se produce cianuro sódico y cianuro de potasio en Europa

Ubicación (población, país)	Productos
Wesseling, Alemania	NaCN líquido NaCN sólido KCN sólido
Geleen, Holanda	NaCN líquido
Billingham, Reino Unido	NaCN líquido
Ludwigshafen, Alemania	NaCN líquido
Amberes, Bélgica	NaCN líquido
Kolin, República Checa	NaCN sólido
Pitesti, Rumania	NaCN líquido
Seal Sands, Reino Unido*	NaCN líquido
Saint-Avold, Francia*	NaCN líquido
Roussillon, Francia*	NaCN líquido

* uso cautivo

La capacidad de producción mundial de cianuros se sitúa actualmente en unas 650.000 toneladas para un mercado de aproximadamente 500.000 toneladas. La capacidad de producción europea de cianuros se sitúa actualmente en unas 140.000 toneladas para un mercado de aproximadamente 80.000 toneladas.

6.5.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA DEL CIANURO EUROPEA

En Europa, hay grandes empresas (más de 250 empleados) y medianas empresas (entre 50 y 249 empleados) dedicadas a la fabricación de cianuros. La mano de obra empleada para el funcionamiento de los centros de producción de cianuro en estas empresas suele ser inferior a 60 personas. La producción se efectúa en instalaciones medianas de funcionamiento continuo. La producción se lleva a cabo en instalaciones que forman parte de un complejo industrial mayor en el que se produce el HCN como materia prima (debido al hecho de que el HCN presenta serios problemas de transporte).

6.5.1.6. ECONOMÍA

Las diferencias de los valores de mercado entre el NaCN y el KCN son, con frecuencia, el reflejo de las diferencias de los valores de mercado de sus materias primas, NaOH y KOH. Puesto que el valor del KOH es considerablemente más alto que el del NaOH, el KCN es más caro que el NaCN. Según la publicación Chemical Market Reporter, del 8 de diciembre de 2003, los precios de venta en

Europa para el NaCN/KCN también están sujetos a fluctuaciones en el mercado mundial. Según este informe, los precios se situaban principalmente por debajo de 1.650 dólares por tonelada para el NaCN (pureza del 100%) y por debajo de 3.000 USD por tonelada para el KCN (pureza del 100%).

Durante los últimos años, la producción de cianuros se ha consolidado en gran medida en Europa, lo que ha provocado el cierre de una serie de emplazamientos de producción.

6.5.2. Procesos y técnicas aplicados

6.5.2.1. TIPOS PRINCIPALES DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Existen dos clases principales de procesos disponibles para la producción de cianuros en todo el mundo:

- el proceso de fusión,
- el proceso de solución en agua.

En el proceso de fusión, no se necesita una fuente de cianuro como materia prima; los cianuros se producen a partir de componentes que no son cianuros (reacción de metales de sodio con carbón y amoníaco). El resultado son cianuros sólidos con diferentes clases de impurezas, por ejemplo, negro de carbono a partir del uso de carbono como materia prima.

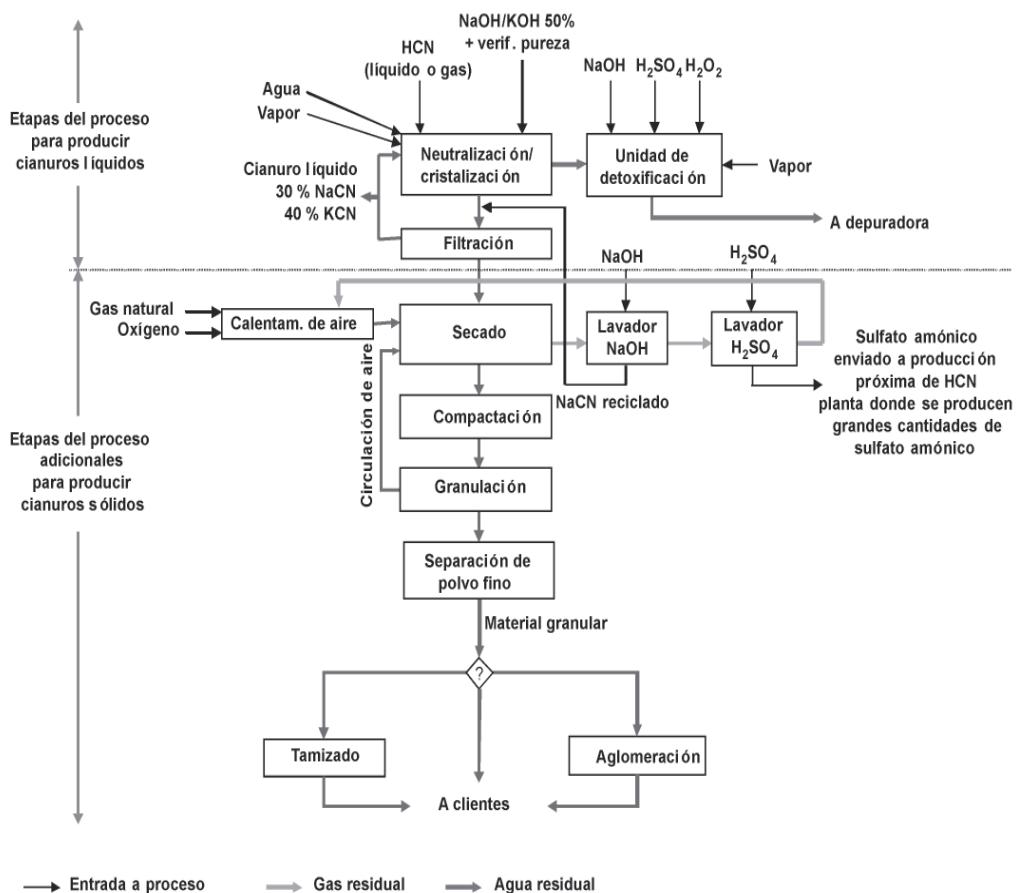
Si los cianuros se producen **en el proceso de solución en agua** (llamado también proceso de neutralización), el HCN como materia prima proporciona la fuente de cianuro. Puesto que el cianuro debe aplicarse con un contracatón que hace que el cianuro sea estable y que su producción sea rentable, el NaOH (para la producción de NaCN) o el KOH (para la producción de KCN) se utilizan como agentes de neutralización. Por ello, la producción de HCN es una etapa intermedia importante para la producción de cianuros alcalinos. Sin embargo, debido al motivo indicado al principio de esta sección, en este documento no se contempla la producción de HCN.

Hoy en día, el proceso de solución en agua es el método más utilizado en el mundo. Los procesos de fusión sólo pueden ser competitivos si los costes de electricidad son suficientemente bajos. **Esta sección se centra únicamente en el proceso de solución en agua, ya que el proceso de fusión no se utiliza en la industria europea.**

Como ejemplo, la Figura 6.25 muestra las etapas de producción principales para la producción de cianuros mediante un proceso de solución en agua. Los cianuros líquidos se producen como resultado de una etapa de neutralización/cristalización seguida del filtrado del producto. Los cianuros sólidos (en polvo, gránu-

los o briquetas) se producen como resultado de varias etapas de proceso consecutivas: secado, compactación, granulación, separación del polvo fino y, finalmente, tamizado o aglomeración.

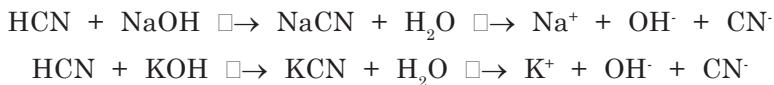
Figura 6.25. Principales etapas de la producción de cianuros de sodio o potasio mediante un proceso de solución en agua



En Europa se producen tanto cianuros líquidos como sólidos. Generalmente, las soluciones de cianuro se concentran para lograr la máxima eficiencia en el transporte. Se utilizan las soluciones de cianuro si la instalación industrial de aplicación se encuentra suficientemente cerca del centro de producción de cianuro, de modo que el transporte de la solución sea competitivo en comparación con los costes de producción de sólidos (es decir, la evaporación del exceso de agua y la formulación del material sólido).

6.5.2.2. QUÍMICA DE PROCESOS

La formación de los cianuros es una reacción de neutralización química simple entre un ácido débil (HCN) y una base fuerte (OH^-). Se indica la reacción de neutralización para la producción de NaCN y la de KCN :



Se forma una sal alcalina y ello se debe al pH alcalino del agua tras la disolución/hidrólisis de la sal de cianuro y la posterior formación/liberación de OH^- del agua.

6.5.2.3. ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES

Materias primas

Las materias primas que se utilizan para la producción de cianuros son HCN , NaOH o KOH y agua.

Puesto que el HCN es un producto que presenta serios problemas de transporte, las plantas de producción de cianuro están situadas junto a las plantas de producción de HCN o bien junto a plantas que producen HCN como subproducto (por ejemplo, producción de acrilonitrilo). El HCN suministrado se mantiene siempre en movimiento y a una temperatura fría de 5 °C para impedir la polimerización.

El NaOH y el KOH se suministran a la planta de producción de cianuro desde un parque de almacenamiento a través de tuberías. Estas materias primas se producen en el complejo químico en la que está situada la instalación o se entregan desde los proveedores externos al parque de almacenamiento por barco, ferrocarril o carretera. El NaOH y el KOH como materias primas se almacenan en depósitos de acero o de acero inoxidable con capacidades entre 50 y 1.000 m³. Todos los depósitos están provistos de los dispositivos de seguridad necesarios (por ejemplo, protección de sobrellenado, contención secundaria o doble fondo).

Puede utilizarse agua dulce como materia prima en una proporción que depende de la concentración de cianuro solicitada por los clientes para el producto de cianuro líquido.

Productos químicos auxiliares

Para la producción de NaCN/KCN no se necesitan auxiliares químicos.

Para la desintoxicación de los residuos de cianuro, se utilizan peróxido de hidrógeno (H_2O_2) o sustancias químicas a base de cloro y ácido sulfúrico. Estas sustancias químicas se almacenan en depósitos adecuados y se entregan a través de tuberías a la planta de cianuro.

6.5.2.4. NEUTRALIZACIÓN/CRISTALIZACIÓN

La reacción de neutralización produce una liberación de energía de 460 kJ/mol. Esta energía se utiliza en la vaporización posterior del agua para formar cristales de NaOH o KOH (cristalización).

La reacción de neutralización necesita que las materias primas HCN y NaOH o KOH estén en proporciones estequiométricas. El uso de dispositivos de mezcla especiales y la adición de un 0,2 – 3% de exceso de NaOH o KOH impide la polimerización de HCN. La eficiencia de la reacción de neutralización tiene un rendimiento superior al 98% basado en HCN. Esto significa que todo el HCN utilizado se transfiere a NaCN o KCN de producto final y sólo se producen pequeñas pérdidas de HCN.

Simultáneamente a la reacción de neutralización o en una segunda etapa, el agua se vaporiza en presión reducida y el cianuro metálico alcalino se precipita por debajo de 100 °C (cristalización). Cuanto menor sea el tiempo de residencia del cianuro en la solución, más limpio será el producto y menor será el contenido de los productos de hidrólisis y de las impurezas de hierro [1, Ullmann, 2001]. El agua evaporada se condensa antes de entrar en la unidad de desintoxicación de cianuro. Una reacción secundaria en el cristalizador (es decir, la hidrólisis del cianuro) da como resultado la formación de NH_3 que se tiene que suprimir.

La reacción de neutralización da como resultado la formación de una sal de NaCN (o KCN) disuelta (solución al 46% de NaCN cuando se utilizan materias primas al 50% de NaOH y al 99% de HCN puro; solución al 47% de KCN cuando se utilizan materias primas al 50% de KOH y al 99% de HCN puro). Posteriormente, la solución de materias primas puede estar concentrada o diluida con agua, según el producto final que se requiera. Normalmente, el objetivo es formar una solución de cianuro concentrado que contenga aproximadamente un 30% de cianuro sódico o un 40% cianuro potásico.

6.5.2.5. FILTRACIÓN

Los cristales de NaCN o KCN se separan de la solución mediante filtración (se utilizan filtros de tambor o filtros prensa como dispositivos de filtrado). Según el dispositivo de filtrado empleado, entre un 2 y un 15% de agua permanece en

el cianuro sólido. Después, la solución se devuelve al cristalizador y los cristales se envían a la etapa de secado.

6.5.2.6. SECADO

Los cristales de NaCN húmedo (que todavía contiene un 12% de agua) se secan (a unos 300 °C) con aire caliente sin CO₂ que circula en un bucle cerrado dentro del proceso (véase Figura 6.25). Las etapas de secado y filtración actúan con un vacío ligero, por lo que se pueden succionar pequeñas cantidades de aire adicional. El exceso de aire contaminado con HCN y NH₃ se envía a un sistema de limpieza del aire. El aire contaminado se trata en un sistema de lavado que emplea NaOH para reducir HCN y ácido sulfúrico (H₂SO₄) para reducir NH₃. El exceso de aire también se puede incinerar en los calentadores de aire si está contaminado con compuestos orgánicos, como el benceno. Tras el secado, los cristales se separan en ciclones. En esta etapa, las sales de cianuro contienen hasta un 0,5% de humedad.

6.5.2.7. COMPACTACIÓN

Los cristales que tienen una baja densidad aparente se prensan en rodillos giratorios para aumentar su densidad global. A continuación, los cristales compactados se granulan.

6.5.2.8. GRANULACIÓN

Los cristales de cianuro se granulan en una granuladora de cuchillas rotativa.

6.5.2.9. SEPARACIÓN DE POLVO FINO/TAMIZADO/AGLOMERACIÓN

Debido a que la etapa de granulación puede crear polvo fino, éste se separa antes de producir los gránulos. Un bajo contenido de polvo fino en los gránulos ofrece ventajas en cuanto a seguridad y procesamiento del producto en las instalaciones del cliente. Posteriormente, los gránulos se guardan en paquetes o bien se procesan en aglomerados o polvo. Las partículas finas se separan de los gránulos en un tamiz. Los aglomerados se forman en una máquina de prensa con rodillos giratorios.

6.5.2.10. EMBALAJE Y ALMACENAMIENTO DE CIANUROS

Por lo general, los cianuros sólidos se guardan en bidones de acero chapado (normalmente con un contenido entre 50 y 100 kg de productos) o en bolsas de una tonelada (normalmente de polipropileno y equipadas con un forro interior de

polietileno para ofrecer más protección y para que el embalaje sea estanco al aire y al agua) que se transportan en cajas de madera contrachapada. La tapa del bidón se fija con un anillo de cierre y se sella herméticamente.

Por lo general, los bidones se emplean para clientes de industrias pequeñas (por ejemplo, la industria de la galvanoplastia) y las cajas de madera contrachapada para clientes de industrias grandes (especialmente para la industria de minería).

El embalaje retornable, que permite varios usos, es una alternativa importante a la aplicación del embalaje de un solo uso. Tanto el embalaje de un solo uso como el retornable se utilizan en todo el mundo para transportar cianuros sólidos.

Una alternativa al transporte de cianuros es el sistema de sólido a líquido (SSL). Los cianuros sólidos se vierten en una unidad que contiene aproximadamente 20 toneladas de material. Esta unidad se transporta a las instalaciones del cliente y los cianuros sólidos se disuelven allí. Posteriormente, se bombean a una instalación de almacenamiento. La unidad de transporte se puede llenar con material de cianuro sólido frecuentemente.

El embalaje elegido para los cianuros sólidos depende de consideraciones técnicas, económicas y medioambientales.

Los cianuros líquidos siempre se transportan en embalaje retornable (bidones metálicos o vagones). El cianuro líquido sólo resulta viable económicamente en un radio limitado de la planta de producción. La concentración de la solución se puede ajustar para garantizar que, incluso en invierno, no precipite. El cianuro líquido es más fácil de manipular y es la forma preferida cuando se requieren grandes cantidades de cianuro y se pueden usar soluciones acuosas.

Todo el embalaje debe cumplir los requisitos oficiales para el transporte de sustancias tóxicas (aprobación de UN). Todo el embalaje se etiqueta según las normativas de transporte.

Los bidones metálicos y las cajas de madera contrachapada cargados con productos se almacenan en un área cubierta exclusiva (donde sólo se guardan cianuros) que está equipada con completos sistemas de seguridad y de protección contra incendios (por ejemplo, el área de almacenamiento está vallada, provista de puertas cerradas y cubierta para protegerla de la lluvia; en el área de almacenamiento está prohibido el uso de agua para apagar un incendio).

6.5.2.11. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CIANUROS

[1, Ullmann, 2001]

La estabilidad de los cianuros sólidos en condiciones secas y aislados del aire es muy elevada, incluso a temperaturas bastante altas. Sólo cuando se expone al

aire húmedo, el cianuro sólido y líquido puede reaccionar con el dióxido de carbono para liberar HCN:



Los cianuros se almacenan en un lugar seco y protegido contra la corrosión. Las salas de almacenamiento están bien ventiladas. El almacenamiento de los cianuros está separado del almacenamiento de los oxidantes de gran acción (por ejemplo, nitratos, cloratos, ácido nítrico o peróxidos), ácidos, alimentos y forraje, dióxido de carbono, agua o productos que contienen agua.

El área de almacenamiento de cianuros está delimitada de forma clara y nunca se permite que el personal no autorizado acceda a las salas en las que se almacenan o procesan los cianuros. Por lo tanto, un área de cianuros está separada de las otras áreas, por ejemplo, mediante vallas o paredes. En caso de emergencia, muy cerca hay disponibles extintores de incendio en polvo, duchas de seguridad, sistemas de lavado ocular y antídotos.

El acero inoxidable se emplea como material de construcción para el equipo que está en contacto con las soluciones de cianuro. No obstante, las soluciones de cianuro concentrado se almacenan en contenedores de acero o de acero inoxidable, que están protegidos contra fugas mediante una balsa de recogida construida con hormigón resistente a los alcalinos.

Antes de embalarse (en contenedores a granel o vagones) y enviarse a los clientes, las soluciones de cianuro se almacenan en el emplazamiento de producción en depósitos de acero o acero inoxidable que tienen una capacidad de entre 50 y 1000 m³. Todos los depósitos están provistos de los dispositivos de seguridad necesarios (por ejemplo, protección de sobrellenado, contención secundaria o doble fondo).

El trabajo con los cianuros requiere la máxima precaución posible y el cumplimiento más estricto de todas las medidas de seguridad. No se permite trabajar en solitario, comer, beber, fumar, usar inhaladores o masticar chicle (al manipular el cianuro). También está prohibido el almacenamiento de comidas, bebidas o tabaco en el área de cianuros. La producción de cianuros se lleva a cabo en sistemas estrictamente cerrados para evitar el contacto del cianuro con la piel o los ojos, así como la respiración de polvo de cianuro o gas de cianuro de hidrógeno. Si existe el peligro de contaminación por cianuro, hay disponibles guantes de caucho, botas de caucho, mandiles de caucho y gafas de seguridad o protección para la cara y la cabeza. Las duchas de seguridad y los sistemas de lavado ocular se encuentran muy cerca de cada área de cianuros.

6.5.3. Niveles de consumo y de emisión

El consumo de materias primas, productos químicos auxiliares, energía y agua para la producción de cianuros se representan en la Figura 6.25. Las emisiones a la atmósfera procedentes de la producción de cianuros se muestran en Figura 6.26 y los vertidos al agua se muestran en Figura 6.27

Las emisiones procedentes de la producción de cianuros constan principalmente de HCN y NH₃ en los efluentes gaseosos y de cianuros en los efluentes líquidos.

6.5.3.1. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES

La reacción de neutralización/cristalización (véase la Sección 6.5.2.4) necesita las materias primas HCN y NaOH o KOH en proporciones estequiométricas junto con un pequeño exceso de NaOH o KOH (0,2 – 3%). El rendimiento de reacción (basado en HCN) es superior al 98%.

La cantidad de materias primas necesarias para producir una tonelada de NaCN y una tonelada de KCN, respectivamente, se muestra en la Tabla 6.34.

Tabla 6.34. Cantidad de materias primas necesarias para producir una tonelada de NaCN y una tonelada de KCN, respectivamente

Producto	NaOH	KOH	HCN
	toneladas		
NaCN	0,82	X	0,55
KCN	X	X	0,42

Actualmente, el HCN se produce mediante la reacción directa de alcanos con amoníaco e, indirectamente, como un subproducto de la fabricación de acrilonitrilo (el 25% del cianuro de hidrógeno en EE.UU. y el 20% en Europa Occidental se obtienen como un subproducto en la fabricación de acrilonitrilo mediante la oxidación de propano y propileno en presencia de amoníaco [1, Ullmann, 2001]).

Cuando el HCN procede de una planta de acrilonitrilo, las impurezas de la materia prima de HCN (99% HCN puro) incluyen principalmente benceno (aproximadamente 70 ppm). No hay otras impurezas importantes en la materia prima de HCN.

NaOH y KOH con un contenido muy bajo de metales pesados se utilizan en la producción de cianuros con el fin de limitar la liberación de metales pesados al medio ambiente como resultado del proceso de producción y para cumplir los requisitos de la industria de galvanoplastia (véase la Sección 6.5.1.2).

Para la destrucción oxidativa (en la unidad de desintoxicación) de los residuos de cianuro que contienen los efluentes acuosos, se emplea peróxido de hidrógeno (H_2O_2) o productos químicos basados en cloro. El NaOH y el ácido sulfúrico (H_2SO_4) se utiliza en el sistema de limpieza del aire para reducir el HCN y el NH_3 después de la etapa de secado. En una instalación que produzca 20.000 toneladas de NaCN (base seca) al año, normalmente se utilizan 100 toneladas de material de detoxificación (H_2O_2 o productos químicos basados en cloro), menos de 50 toneladas de H_2SO_4 y menos de 100 toneladas de NaOH.

6.5.3.2. CONSUMO DE ENERGÍA

Los costes de energía para la producción de cianuro son principalmente la electricidad y el vapor. La electricidad se utiliza para la alimentación de los sistemas de control, motores y bombas, así como para calentar los depósitos y las tuberías empleados para transportar el NaOH. El gas natural se utiliza para alimentar los secaderos de aire. El vapor se utiliza en la cristalización y en la unidad de desintoxicación del agua residual. El vapor se produce en calderas de alta presión.

El consumo de vapor está entre 1,3 y 1,5 toneladas de vapor/t 100% de NaCN/KCN. El consumo de electricidad está entre 0,1 y 0,15 MWh/t 100% de NaCN/KCN.

6.5.3.3. CONSUMO DE AGUA

En la producción de cianuros el agua se utiliza para:

- Preparar la solución de cianuro.
- Lavar los equipos.
- Enfriar los equipos.

Para la producción de la solución de cianuro (sólo pertinente para las etapas de neutralización/cristalización y filtración) se necesita agua como materia prima para la dosificación en la tubería. La mayor parte del agua necesaria para producir una solución de cianuro viable económicamente procede de la solución cáustica (NaOH o KOH), que es una fuente de agua importante. El agua adicional necesaria es agua dulce o agua de proceso.

El agua también se utiliza para enfriar los equipos (por ejemplo, torres de refrigeración).

Asimismo, el agua se utiliza para limpiar los equipos de proceso (agua de lavado y enjuague). Tras la limpieza, el agua contaminada con cianuros se recoge y reutiliza en el proceso de producción. El agua con una concentración de cianuro baja se envía a la unidad de desintoxicación.

6.5.3.4. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Las emisiones a la atmósfera para una planta de cianuro con un funcionamiento correcto, que produce NaCN y KCN como producto sólido y como solución, se indican en la Tabla 6.35.

Tabla 6.35. Emisiones a la atmósfera procedentes de una planta de producción de cianuros con un funcionamiento correcto

Contaminante	Emisiones a la atmósfera ¹
	g/t 100% de NaCN o KCN
HCN	0,5 – 2
NH ₃	0,7 – 3
NO _x	100 – 500
COV	0 – 0,01

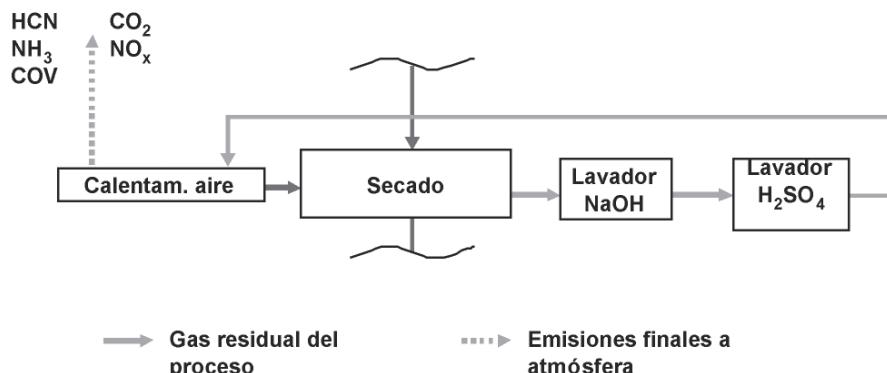
¹ Los valores se han obtenido de las mediciones de emisiones en diferentes plantas de producción de cianuros. Los intervalos ofrecen una mejor práctica en función de la tecnología y del proceso empleados, así como de las condiciones específicas del emplazamiento, que varían de un emplazamiento a otro (por ejemplo, tratamiento de aguas residuales). Por ejemplo, un emplazamiento comunica una frecuencia de un análisis de emisiones cada tres meses

Emisiones de NH₃ y HCN

Los NH₃ y HCN son contaminantes y se hallan en el exceso de aire procedente de la etapa de secado.

El NH₃ se forma como resultado de la hidrólisis de cianuros a alta temperatura. En primer lugar se forma el cianato (OCN⁻) y conduce a la formación posterior de NH₃.

Figura 6.26. Emisiones a la atmósfera procedentes de la producción de cianuros



El HCN procede de la etapa de neutralización/cristalización como materia prima sin reaccionar.

Los NH₃ y HCN se reducen en un sistema de lavado que utiliza NaOH para la reducción de HCN y ácido sulfúrico (H₂SO₄) para la reducción de NH₃. La solución que contiene NaCN recuperado en el lavador alcalino se recicla en el proceso de producción. La solución que contiene sulfato amónico recuperado en el lavador de ácido se recicla, por ejemplo, en una planta de producción de HCN próxima donde se producen grandes cantidades de sulfato amónico como subproducto forzado.

Por motivos sanitarios y de seguridad, se instalan dispositivos de monitorización para la detección de NH₃ y HCN en las áreas de trabajo.

Emisiones de CO₂ y NO_x

Las emisiones de CO₂ y NO_x proceden de la combustión de gas natural empleado para alimentar los calentadores de aire que sirven para secar los cristales de NaCN/KCN antes de su compactación. Los gases de combustión (CO₂ y NO_x) procedentes de los calentadores se emiten a la atmósfera.

Se adoptan todas las medidas para alcanzar el índice de emisión de NO_x más bajo cada hora. Esto incluye:

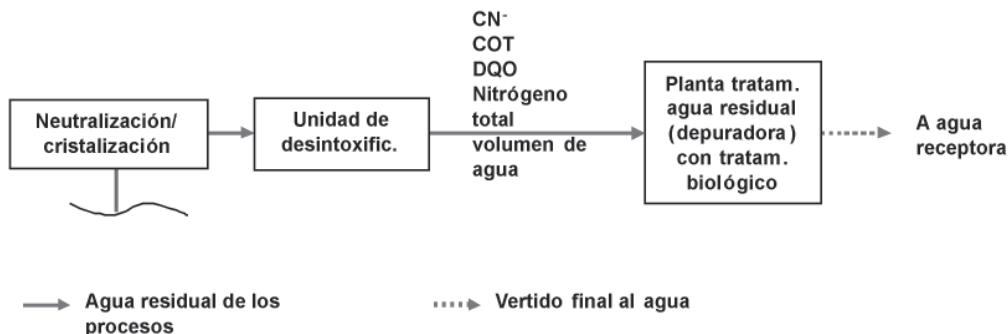
- Optimización de la construcción del quemador.
- Reducción de los componentes de nitrógeno en los gases de proceso.
- Separación de los flujos de gases con elevada concentración de COV procedente de los flujos de gases sin contaminación de COV.
- Reducción de los flujos.

Emisiones de COV

Las emisiones de COV se originan de la incineración del aire contaminado con compuestos orgánicos (como benceno, que puede ser una impureza incluida en la materia prima de HCN, véase la Sección 6.5.3.1) en los calentadores de aire mencionados anteriormente. Los COV se reducen en los calentadores de aire.

6.5.3.5. VERTIDOS AL AGUA

El agua residual se origina principalmente en la etapa de neutralización/cristalización. Los vertidos de aguas residuales constan básicamente de cianuro libre en los flujos de aguas residuales.

Figura 6.27. Vertidos al agua procedentes de la producción de cianuros

El exceso de agua de las soluciones de cianuro concentradas se evapora en la etapa de cristalización y se devuelve al proceso después de la condensación o se envía a la unidad de desintoxicación.

Tras la desintoxicación (véase la Sección 6.5.4.1), la concentración de cianuro en el efluente acuoso tratado que se envía a los canales públicos está por debajo de 0,01 ppm de cianuro libre.

Aunque la mayor parte del agua que se evapora se condensa posteriormente, antes de su liberación a la atmósfera se debe tratar una pequeña cantidad de vapores y gases no condensables. Esto se lleva a cabo mediante lavadores húmedos, incineración o una combinación de ambos. Los sistemas de lavadores húmedos utilizan soluciones de lavado líquidas diseñadas para contener o neutralizar los gases no condensables. La eficacia de reducción para estos sistemas supera el 98%. Los sistemas de incineración o de oxidación térmica también se emplean para la desintoxicación de los gases. La eficacia de reducción para estos sistemas supera el 99%.

Los niveles de descarga en una depuradora procedentes de una planta de producción de cianuros típica, que produce NaCN y KCN como producto sólido y como solución, se indican en la Tabla 6.36. Estos niveles son posteriores a la desintoxicación y anteriores a la depuradora biológica.

Tabla 6.36. Niveles de descarga en una depuradora procedentes de una planta de producción de cianuros típica

Contaminante	Vertidos en una depuradora
	g/t 100% de NaCN o KCN
NH ₄ ⁽⁺⁾ -N	400 – 2000
DQO	800 – 4000
CN-	0,4 – 6
COT	300 – 1500

6.5.3.6. RESIDUOS SÓLIDOS

No se generan residuos sólidos en la reacción química (por ejemplo, no hay residuos de cianuro sólidos). Los productos de cianuro sólidos, que no cumplen las especificaciones, se reciclan en el proceso de producción mediante la disolución en aguas contaminadas con cianuros y la reinyección en la etapa de neutralización/cristalización.

Por otro lado, los aislantes contaminados, los guantes usados y el embalaje dañado (en las operaciones de llenado o almacenamiento) son residuos sólidos del proceso de producción. Todo el material residual sólido se lava para quitar el cianuro con agua antes de su eliminación (los metales se reciclan en una fundición de acero y el resto se elimina o se incinera). El agua de lavado que contiene cianuros se envía a la unidad de desintoxicación para su tratamiento.

6.5.3.7. OLORES Y EMISIONES SONORAS

La fuente principal de ruido en las plantas de cianuro son los motores, las bombas y los ventiladores. El ruido se monitoriza periódicamente para que no se convierta en una molestia. Los malos olores no son un problema en las instalaciones de producción de cianuros.

6.5.3.8. MONITORIZACIÓN

La monitorización del aire se lleva a cabo mediante cálculos o mediciones. Algunas instalaciones comunican que las emisiones a la atmósfera se monitorizan de uno a tres años y que la eficacia del sistema de limpieza del aire se monitoriza diariamente.

Los vertidos de agua se monitorizan continuamente (en algunos casos se efectúa un análisis en línea del cianuro libre y del cianuro total) o de forma (análisis) periódica (principalmente cada día) según el contaminante.

6.5.4. Técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD

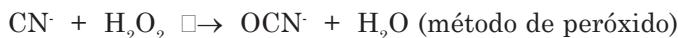
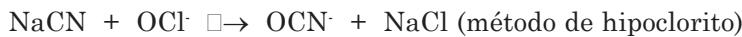
6.5.4.1. DESTRUCCIÓN DE CIANUROS DE LOS GASES RESIDUALES Y LAS AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H_2O_2) COMO AGENTE OXIDANTE

Descripción

Los cianuros (en forma de gas HCN) se eliminan de los gases residuales mediante un lavador con una solución NaOH (o una solución KOH). La solución circula

entre un recipiente de tampón y el lavador. La solución se muestrea periódicamente y se sustituye si el contenido de OH⁻ libre es demasiado bajo para la absorción de HCN del caudal de aire. La solución consumida que está cargada con cianuros se reacondiciona (el reacondicionamiento consiste básicamente en mezclar la solución consumida con el fin de lograr una concentración de CN⁻ bastante constante y homogénea) con otros caudales de agua residual rica en CN⁻ para sustituir las materias primas en la etapa de neutralización/cristalización (véase Figura 6.25). De la unidad de reacondicionamiento sale un caudal de agua residual baja en CN⁻. El cianuro restante se destruye junto con los flujos de agua residual baja en CN⁻ mediante el ajuste de pH y la destrucción oxidativa con peróxido de hidrógeno (H₂O₂). En la Figura 6.28 se muestra un esquema de esta técnica.

Con la tecnología basada en H₂O₂ (a diferencia del hipoclorito, por ejemplo) no se generan sales y subproductos de AOX.



Es habitual catalizar la reacción con un metal de transición, como cobre, vanadio, tungsteno o plata soluble en concentraciones de 5 a 50 mg/l. La oxidación requiere 1,26 kg H₂O₂ por kg de cianuro [41, H2O2.com, 2003].

Ventajas medioambientales logradas

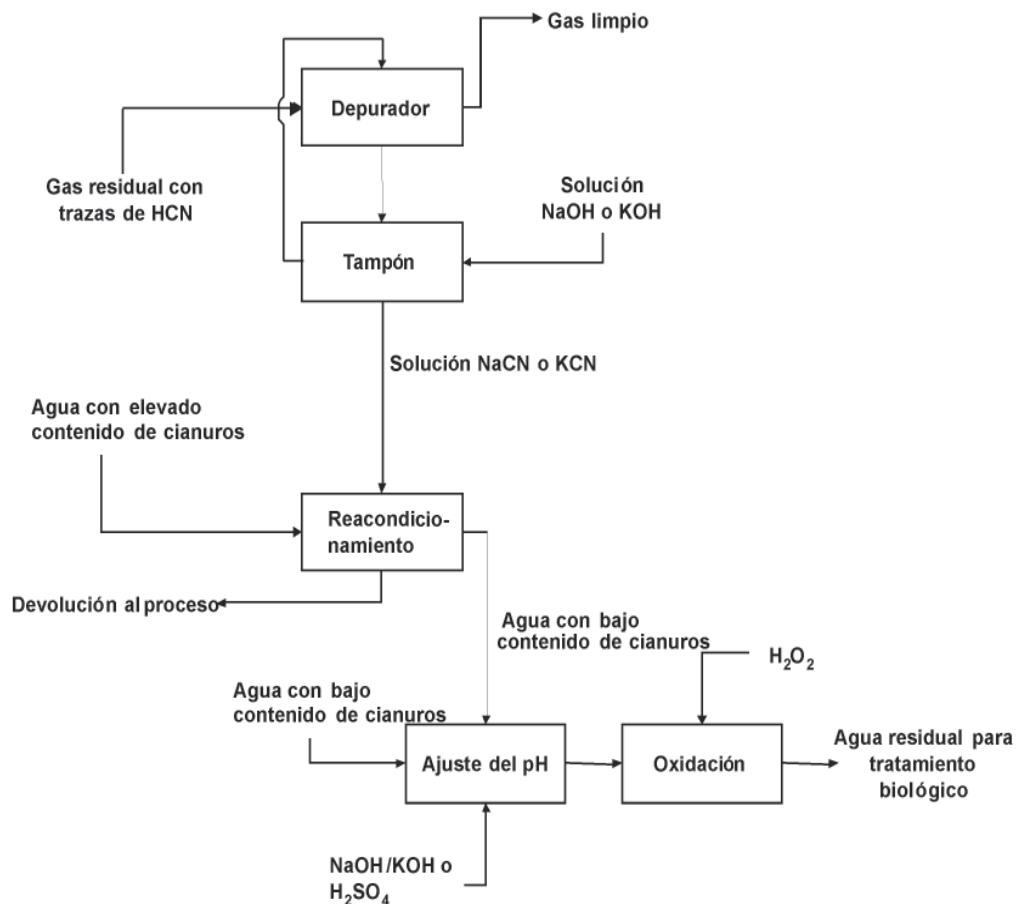
- Eliminación de HCN/CN⁻ de los gases residuales y el agua residual.
- Reutilización de los flujos de agua residual como materias primas.
- No queda AOX en el agua residual.
- No hay residuos contaminados.

Los niveles de emisión conseguidos (para la descarga en una depuradora biológica) se indican en la Tabla 6.37.

Tabla 6.37. Niveles de emisión conseguidos después de la destrucción oxidativa de los cianuros

	Concentración	Caudal másico	Referencia
Gas residual	1 mg HCN/m ³	3 g HCN/h	
Agua residual	1,1 mg CN ⁻ /l	2,3 g CN ⁻ /h	CyPlus, Alemania

Figura 6.28. Destrucción de cianuros de los gases residuales y el agua residual



Efectos cruzados

- Consumo de energía.
- Consumo de peróxido de hidrógeno (H_2O_2).
- Consumo de catalizadores.

*Datos operativos***Tabla 6.38. Datos operativos para la destrucción de cianuros**

	Caudal y concentración en la entrada del sistema de tratamiento	Referencia
Capacidad de tratamiento	Caudal de gases 3400 m ³ /h 50 mg HCN/m ³	CyPlus, Alemania
	Agua residual con una concentración elevada de CN ⁻ 1 m ³ /h 5% de CN ⁻	
	Agua residual con una concentración baja de CN ⁻ 15 m ³ /h 700 mg HCN/m ³	
Eficacia global	99,9%	

Se debe mantener un pH de 9 – 10 para evitar la liberación de gas de cianuro de hidrógeno (HCN).

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Reducción de costes para el tratamiento del agua residual debido a la ausencia de la carga de AOX. La técnica se aplica en algunas instalaciones.

Impulsores de la implementación

- Eliminación de compuestos tóxicos de los gases residuales y de las aguas residuales.

Ejemplos de plantas

- Planta CyPlus, Alemania.

Documentación de referencia

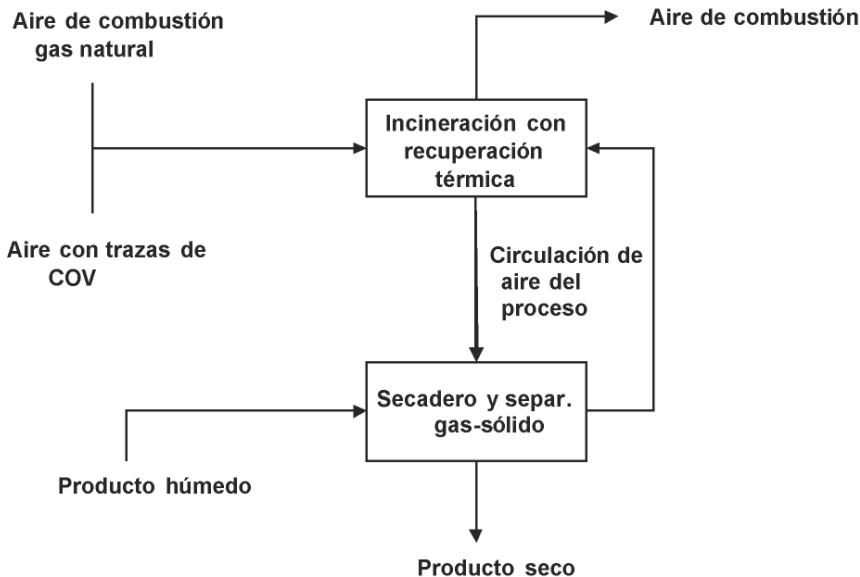
[41, H2O2.com, 2003]

6.5.4.2. INCINERACIÓN DE AIRE DEL PROCESO CON COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)

Descripción

La materia prima de HCN contiene pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles (por ejemplo, benceno) que se pueden encontrar en varios caudales de aire del proceso de producción. Los flujos de aire que contienen COV se identifican y se separan de los demás. Los flujos de aire que contienen COV se incineran en un calentador de aire que funciona con gas natural. La energía de la incineración se utiliza para calentar el aire que se utiliza para secar los cristales de cianuro. En la Figura 6.29 se muestra un esquema de esta técnica.

Figura 6.29. Incineración del aire del proceso que contiene compuestos orgánicos volátiles (COV)



Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de los COV (por ejemplo, benceno) de los gases residuales.
- Ahorro de combustible de gas natural mediante el uso del benceno que contienen los flujos de aire como combustible.
- El calor recuperado de la incineración se utiliza para secar los cristales de cianuro.

Los niveles de emisión conseguidos se indican en la Tabla 6.39.

Tabla 6.39. Niveles de emisión conseguidos después de la incineración de COV

	Concentración de COV	Caudal másico	Referencia
Gas residual	< 0,6 mg/m ³	0,4 g/h	CyPlus, Alemania

Efectos cruzados

- Ninguno.

*Datos operativos***Tabla 6.40. Datos operativos para la incineración de COV**

	Caudal y concentración en la entrada del sistema de tratamiento		Referencia
Capacidad de tratamiento	Caudal de gases	2500 m ³ /h Concentración de benceno variable	CyPlus, Alemania
Eficacia global		99,9%	

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Reducción de costes energéticos.
- Costes de inversión considerablemente bajos.

Impulsores de la implementación

- Eliminación de compuestos tóxicos de los gases residuales.

Ejemplos de plantas

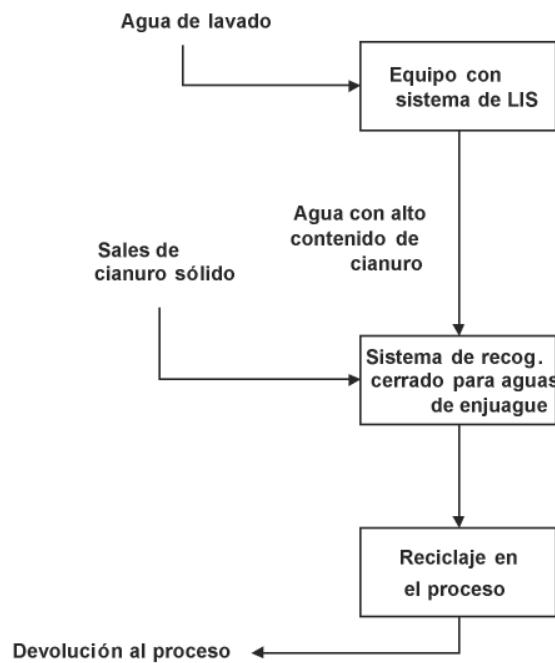
- Planta CyPlus, Alemania.

6.5.4.3. SISTEMA DE LIMPIEZA IN SITU (LIS) PARA EQUIPO CONTAMINADO CON CIANUROS

Descripción

Durante la producción se acumula cianuro sólido en tuberías, máquinas y recipientes que, finalmente, puede provocar que el equipo funcione incorrectamente o se bloquee. Un sistema de limpieza in situ (LIS) facilita la limpieza y el enjuague del equipo en un sistema cerrado. Con un sistema de este tipo, los trabajadores no están expuestos a emisiones peligrosas. El agua de lavado que contiene cianuro se recoge en un sistema de tuberías cerrado y se almacena en depósitos. A continuación, el agua de lavado se recicla en el proceso para reducir el uso de agua dulce. Además, las sales de cianuro sólido que no cumplen las especificaciones pueden disolverse en los depósitos de recogida del agua de lavado y reciclarse en el proceso con el fin de reducir la cantidad de residuos peligrosos generados. En la Figura 6.30 se muestra un esquema de esta técnica.

Figura 6.30. Un sistema de limpieza in situ (LIS) del equipo contaminado con cianuros



Ventajas medioambientales logradas

- No hay residuos que contengan cianuros.
- Reciclado del agua residual que contiene cianuros dentro del proceso.

- Reducción del consumo de materias primas (por ejemplo, agua dulce).
- Protección de los trabajadores.
- Reducción de las emisiones al medio ambiente y a las áreas de trabajo.

Los niveles de emisión conseguidos se indican en la Tabla 6.41.

Tabla 6.41. Niveles de emisión conseguidos asociados a la limpieza del equipo contaminado con cianuros

	Concentración	Caudal másico	Referencia
Residuo sólido		0 kg/año	CyPlus, Alemania

Efectos cruzados

- Consumo de energía.

Datos operativos

Tabla 6.42. Datos operativos para la limpieza del equipo contaminado con cianuros

	Caudal y concentración en la entrada del sistema de tratamiento		Referencia
Capacidad de tratamiento	Agua de enjuagado	15 m ³ /h Concentración de cianuro variable	CyPlus, Alemania
Eficacia global	99% ¹		

¹ El 1% restante de los cianuros se descompone (por hidrólisis) en subproductos o termina en la unidad de desintoxicación de cianuros

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Reducción de costes para el tratamiento de aguas residuales.
- Reducción de costes de materias primas.

Impulsores de la implementación

- Reducción de las emisiones al medio ambiente y a las áreas de trabajo.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

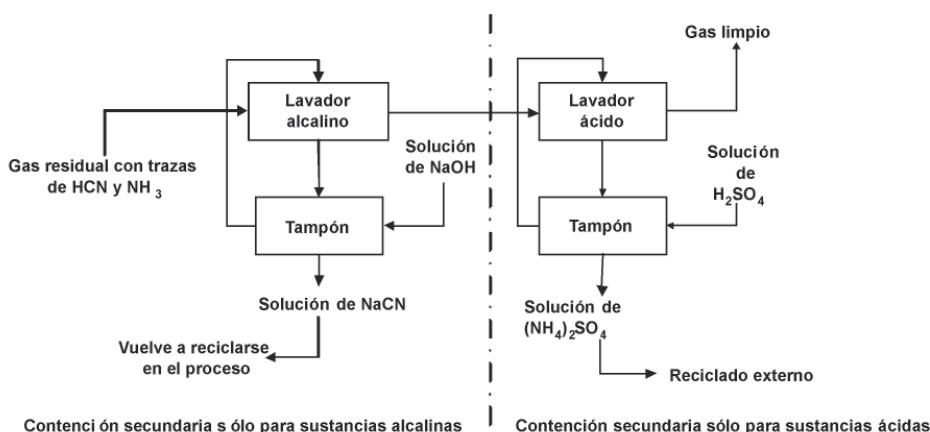
6.5.4.4. ELIMINACIÓN DE HCN Y NH₃ DE LOS GASES RESIDUALES*Descripción*

El cianuro de hidrógeno (HCN) y el amoníaco (NH₃) se eliminan de los gases residuales mediante un lavador alcalino con una solución de NaOH y un lavador ácido con una solución de H₂SO₄. En cada lavador, la solución circula entre un recipiente de tampón y el lavador. La solución en cada lavador se muestrea periódicamente y se sustituye si el contenido de OH⁻ libre es demasiado bajo para la absorción de HCN del caudal de aire o si el contenido de H₂SO₄ libre es demasiado bajo para la absorción de amoníaco. La solución gastada del lavador alcalino se recicla en el proceso para sustituir las materias primas en la etapa de neutralización/cristalización (véase Figura 6.25). La solución de sulfato amónico que se forma en el lavador ácido se puede reciclar fuera de las instalaciones (por ejemplo, en plantas que producen fertilizantes).

Por motivos de seguridad, la contención secundaria del lavador ácido está separada estrictamente de la contención secundaria del lavador alcalino y el resto del edificio de producción. Esto se realiza para evitar, en caso de accidente, que los ácidos entren en contacto con las soluciones que contienen cianuro, una situación que podría provocar la emisión de HCN al medio ambiente.

En la Figura 6.31 se muestra un esquema de esta técnica.

Figura 6.31. Eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales



Ventajas medioambientales logradas

- Eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales.
- No se genera agua residual del lavador alcalino (reutilización de la solución del lavador alcalino en el proceso para sustituir las materias primas).
- La estricta separación de la contención ácida y alcalina reduce el potencial de emisiones peligrosas en caso de accidente.

Los niveles de emisión conseguidos se muestran en la Tabla 6.43.

Tabla 6.43. Niveles de emisión logrados para la eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales

	Concentración	Caudal másico	Referencia
HCN	1 mg/m ³	3 g/h	CyPlus, Alemania
NH ₃	1,2 mg/m ³	3 g/h	

Efectos cruzados

- Consumo de energía.

Datos operativos

Tabla 6.44. Datos operativos para la eliminación de HCN y NH₃ de los gases residuales

Capacidad de tratamiento	Caudal de gases	Caudal y concentraciones en la entrada del sistema de tratamiento	Referencia
		3400 m ³ /h 50 mg/m ³ HCN 250 mg/m ³ NH ₃	CyPlus, Alemania
Eficacia global		99,2%	

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Costes de funcionamiento bajos.
- Reducción de costes de las materias primas.

Impulsores de la implementación

- Eliminación de compuestos tóxicos de los gases residuales.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

6.5.4.5. ENVASES RETORNABLES PARA EL TRANSPORTE DE CIANUROS SÓLIDOS

Descripción

Además del embalaje de un solo uso, el embalaje retornable se emplea para el transporte de cianuros sólidos. En una línea de llenado, el embalaje (bidones, cajas o CRG) se llenan con cianuros. Después de que el cliente vacíe el embalaje, lo sella y lo devuelve al productor. Una segunda opción es que el cliente desmonte la parte del embalaje que no haya estado en contacto con los cianuros (por ejemplo, las cajas de madera contrachapada) y lo devuelva al productor quien revisará el embalaje y lo volverá a montar para reutilizarlo. Los clientes pueden estar equipados con dispositivos de descarga para descargar el contenido del embalaje en un sistema cerrado con el fin de evitar la exposición de los trabajadores.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la cantidad de embalaje y residuos contaminados.

Efectos cruzados

- El transporte de la devolución del embalaje produce un consumo de combustible adicional.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Reducción de los costes de embalaje (según el contrato, el productor o el cliente tiene que hacerse cargo de dichos costes).
- Reducción de los costes de tratamiento de residuos.

Impulsores de la implementación

- Reducción de residuos contaminados.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

6.5.4.6. USO DE UN SISTEMA INFORMATIZADO DE CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Descripción

El funcionamiento de una planta de producción de cianuros requiere la monitorización frecuente de parámetros operativos, así como ajustes a las condiciones de proceso, en concreto para garantizar la seguridad y el control medioambiental. Un sistema de control informatizado puede ayudar a monitorizar centenares de parámetros de proceso y efectuar automáticamente los ajustes necesarios para garantizar un funcionamiento seguro y respetuoso con el medio ambiente. Gracias a un sistema de control informatizado, se pueden implementar enclavamientos automáticos para, por ejemplo, evitar el sobrelleñado de los depósitos o para reducir la generación de aguas residuales.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de las emisiones.
- Reducción de las aguas residuales contaminadas.
- Salud y seguridad de los trabajadores.
- Reducción del consumo de materias primas.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Ligera reducción en los costes de producción (por ejemplo, energía, tratamiento de residuos).

Impulsores de la implementación

- Control más eficaz de las condiciones de proceso.
- Reducción de las emisiones.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

6.5.4.7. DOBLE CONTENCIÓN EN INSTALACIONES DE CIANURO

Descripción

Aunque se adopten todas las medidas para prevenir fugas, se pueden producir fugas en las instalaciones de producción (independientemente de si se originan por las operaciones de planta o porque el hormigón u otros materiales de construcción civil tradicionales se pueden agrietar) que pueden provocar la aparición de agua contaminada por cianuro en el suelo de la planta de producción. La doble contención para el suelo y los sumideros reducen la posibilidad de liberación de cianuro en el suelo o en las aguas subterráneas.

El tamaño de la contención debe contener el volumen del mayor equipo del edificio. Para la contención se pueden utilizar acero, acero inoxidable o materiales plásticos especiales, que son resistentes a los cianuros.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la contaminación del suelo.
- Reducción de los materiales de construcción civil contaminados.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

- Amplia gama de costes, desde aproximadamente 100 a 5.000 euros/m², principalmente en función del material de construcción empleado.
- Reducción de los costes de limpieza y reparación.

Impulsores de la implementación

- Mayor garantía de que no se producen fugas de agua contaminada con cianuro en el suelo.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

6.5.4.8. APLICACIÓN DEL CÓDIGO INTERNACIONAL DE GESTIÓN DEL CIANURO

Descripción

El Código Internacional de Gestión del Cianuro para la fabricación, el transporte y el uso de cianuro en la producción de oro es un código industrial voluntario desarrollado por una comisión multilateral formada con el patrocinio del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Consejo Internacional sobre Metales y Medio Ambiente (CIMMA). Se trata de un programa voluntario de la industria de extracción de oro, de aplicación en todo el mundo. El objetivo del código es garantizar estándares muy elevados para los aspectos de seguridad, medio ambiente y calidad en la producción, transporte y uso de cianuros en la extracción de oro de modo que las personas y el medio ambiente estén protegidos.

La aplicación del código en las plantas de producción de cianuros supone actividades como auditoría, certificación y formación del personal de la planta.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción en el impacto medioambiental global de la producción de cianuros.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

No se obtiene ahorro por la aplicación del código. Los costes dependen de los estándares que un fabricante de cianuros ya ha aplicado; por lo tanto, significa menos costes para los fabricantes que ya cuentan con un sistema de gestión medioambiental sólido y más costes para lo que no cuenten con él.

La auditoría puede durar un día y los preparativos internos para la auditoría pueden durar de unos días a varias semanas con los costes que eso conlleva, por ejemplo, los de personal.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

Documentación de referencia

<http://www.cyanidecode.org/>

6.5.4.9. MEDIDAS DE ALMACENAMIENTO PARA CIANUROS SÓLIDOS

Descripción

Los cianuros sólidos se embalan en embalajes certificados por las Naciones Unidas para el transporte de mercancías peligrosas y se almacenan en la planta de cianuros en edificios de almacenamiento diseñados especialmente. Estos edificios de almacenamiento están vallados y cerrados para prohibir el acceso del personal no autorizado. Los cianuros sólidos se disuelven fácilmente en agua. Por lo tanto, los edificios de almacenamiento están construidos de tal forma que no penetre ni el agua de lluvia ni las aguas superficiales. Además, está prohibido el uso de agua para la extinción de incendios en el edificio (se tienen que emplear espumas alcalinas como agente para la extinción de incendios; está prohibido el uso de espumas ácidas ya que su empleo puede liberar HCN).

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la contaminación del suelo y de las aguas.
- Reducción de los materiales de construcción civil contaminados.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general, donde se almacenen sales de cianuro sólido en embalajes.

Economía

- Costes de construcción bajos.

Impulsores de la implementación

- Mejora de los estándares de seguridad.

6.5.4.10. USO DE NAOH Y KOH CON UN CONTENIDO MUY BAJO DE METALES PESADOS

Descripción

NaOH y KOH son materias primas importantes para la producción de NaCN y KCN. La calidad global de estas materias está influida principalmente por sus procesos de producción individuales. Según estos procesos, las sales de metales pesados pueden ser ingredientes de estos productos cáusticos en diferentes gamas de concentración.

La galvanoplastia es uno los usos principales de los cianuros. En estas aplicaciones, diferentes tipos de iones metálicos se precipitan principalmente en superficies metálicas. El proceso de galvanoplastia y la calidad de los productos finales están muy influidos por cualquier tipo de sales de metales pesados en la solución de trabajo. Por lo tanto, para obtener productos finales de alta calidad, el contenido de cualquier ión metálico no deseado en cualquier producto químico usado tiene que ser lo más bajo posible. Para los procesos de galvanoplastia, los cianuros se producen con un contenido muy bajo en sales de metales pesados según el uso de NaOH y KOH con un contenido muy bajo de metales pesados.

Durante la producción de cianuro, los metales pesados de la materia prima de NaOH y KOH también pueden producir residuos en el proceso. Este efecto puede forzar medidas adicionales para cumplir los estándares de atención sanitaria ocupacional y puede provocar la generación de residuos peligrosos adicionales.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de la cantidad de residuos que contienen iones de metales pesados.

- Reducción de la exposición del personal a metales pesados, especialmente mercurio, plomo y níquel.
- La optimización técnica de los procesos también conlleva un rendimiento medioambiental óptimo.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Datos operativos

- Total de metales pesados <5 ppm, Hg <0,1 ppm.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general cuando se utilizan cianuros en galvanoplastia o en cualquier proceso sensible a los iones de metales pesados.

Economía

- Reducción de residuos en instalaciones de galvanoplastia.
- Calidad mejorada de los productos finales.
- Menos esfuerzos en la monitorización y seguimiento de los residuos de metales pesados en el proceso.
- Posibilidad de mayor duración de almacenamiento de los productos finales.

Impulsores de la implementación

- Optimización del proceso y calidad de producto final.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

6.5.4.11. NIVEL ELEVADO DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN CONTINUA DEL PERSONAL

Descripción

Factores como el proceso complejo para producir cianuros, el uso de tecnologías modernas, el hecho de que se producen sustancias muy tóxicas y que pueden pre-

sentarse situaciones de emergencia provocan mucho estrés en el personal de la planta, en concreto en los operarios de la planta. Para garantizar que las incidencias se mantienen al mínimo, que los accidentes se previenen y para reducir el riesgo de errores en las situaciones de emergencia, se implementan programas de educación y formación específicos. Además de una educación básica sólida en el campo de la ingeniería y las operaciones químicas, el personal de la planta recibe formación continua sobre el trabajo. Se pueden evaluar sus conocimientos periódicamente y el rendimiento se puede registrar después de exámenes escritos o prácticos. Además, todos los operarios reciben formación periódica sobre cómo responder a las situaciones de emergencia, sobre la salud y la seguridad en el trabajo y sobre las normativas de seguridad de producción y de transporte.

Ventajas medioambientales logradas

- Reducción de los riesgos de incidencias y accidentes que podrían provocar emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo.

Efectos cruzados

- Ninguno.

Aplicabilidad

- Aplicable con carácter general.

Economía

Una mejor educación y una formación continua del personal conllevan una mejor toma de decisiones al enfrentarse a los problemas (incluidos los incidentes y las situaciones de emergencia) y, finalmente, una reducción de los costes de producción.

Impulsores de la implementación

- Mejora de los estándares de seguridad.

Ejemplos de plantas

- CyPlus, Alemania.

6.5.5. Mejores técnicas disponibles

Según la introducción de las MTD del Capítulo 5 y teniendo en cuenta que también se definen las MTD genéricas para el sector de las SIC en el Capítulo 5, esta Sección presenta conclusiones específicas de las MTD que pueden aplicarse en general a la producción de cianuros. Por lo tanto, las MTD para la producción de cianuros son la combinación de los elementos genéricos presentados en el Capítulo 5 y los elementos específicos que se indican en esta Sección.

Selección de materias primas

Constituye una MTD:

- 6.5.1 minimizar la cantidad de residuos en el proceso de producción mediante el uso de materias primas NaOH/KOH con un bajo contenido de metales pesados (véase la Sección 6.5.4.10).

Emisiones a la atmósfera

Constituye una MTD:

- 6.5.2 lograr los niveles de emisión indicados en la Tabla 6.45 (véase la Sección 6.5.3.4).

Tabla 6.45. Niveles de emisión a la atmósfera asociados a la MTD para la producción de cianuros

Contaminante	Emisiones a la atmósfera ¹
	g/t 100% de NaCN o KCN
HCN	0,5 – 2
NH ₃	0,7 – 3
NO _x	100 – 500
COV	0 – 0,01

¹ Los valores se han obtenido de las mediciones de emisiones en diferentes plantas de producción de cianuros. Los intervalos ofrecen una mejor práctica en función del proceso y de la tecnología empleados, así como de las condiciones específicas del emplazamiento, que varían de un emplazamiento a otro (por ejemplo, tratamiento de aguas residuales). Por ejemplo, un emplazamiento comunica una frecuencia de un análisis de emisiones cada tres meses

En la producción de cianuros sólidos, constituya una MTD:

- 6.5.3 minimizar las emisiones de COV procedentes de la etapa de secado mediante la incineración del aire de proceso que contiene COV para conseguir una eficacia de eliminación del 99,9% y reutilizar la energía de la incineración para secar los cristales de cianuro (véase la Sección 6.5.4.2).

Constituye una MTD:

- 6.5.4 minimizar las emisiones de HCN y NH₃ y conseguir los niveles de emisión mostrados en la Tabla 6.45 mediante el uso, por ejemplo, de un lavador alcalino con una solución de NaOH para reducir el HCN y un lavador ácido con una solución de H₂SO₄ para reducir el NH₃ (véase la Sección 6.5.4.4).

Constituye una MTD:

- 6.5.5 minimizar las emisiones de NO_x mediante el uso de una combinación de las siguientes técnicas (véase la Sección 6.5.3.4):
- optimización de la construcción del quemador;
 - reducción de los componentes de nitrógeno en los gases de proceso;
 - separación de los flujos de gases con elevadas concentraciones de COV procedentes de los flujos de gases sin contaminación de COV;
 - reducción de los flujos.

Gestión de las aguas residuales

Constituye una MTD:

- 6.5.6 lograr los niveles de descarga indicados en la Tabla 6.46 (véase la Sección 6.5.3.5).

Tabla 6.46. Niveles de descarga en el agua a la entrada de la depuradora asociados a la MTD para la producción de cianuros

Contaminante	Vertidos en una depuradora
	g/t 100% de NaCN o KCN
NH ₄ ⁽⁺⁾ .N	400 – 2000
DQO	800 – 4000
CN ⁻	0,4 – 6
COT	300 – 1500

Constituye una MTD:

- 6.5.7 minimizar el vertido de cianuros al agua mediante el uso de técnicas que oxidan los cianuros (por ejemplo, mediante el uso de peróxidos, como H₂O₂; véase la Sección 6.5.4.1). El uso de hipoclorito es también una MTD cuando el caudal de efluente de cianuro está libre de materia orgánica y no queda hipoclorito libre en el efluente tras la reacción de oxidación.

Constituye una MTD:

- 6.5.8 minimizar el consumo de materia prima mediante el reacondicionamiento de los residuos acuosos que contienen cianuros con el fin de sustituir las materias primas donde sea técnicamente posible (véase la Sección 6.5.4.1).

Prevención de la contaminación del suelo

Constituye una MTD:

- 6.5.9 utilizar sistemas de protección del suelo y estrictamente cerrados para la producción de cianuros (véase la Sección 6.5.2.11).

Constituye una MTD:

- 6.5.10 utilizar un área cubierta dedicada que esté equipada con amplios sistemas de seguridad y de protección contra incendios para almacenar los cianuros (véase la Sección 6.5.2.10).

Constituye una MTD:

- 6.5.11 proporcionar doble contención al suelo y los sumideros en las áreas de producción y almacenamiento (véase la Sección 6.5.4.7). Esto implica:
- a proporcionar contención con el tamaño suficiente para contener el volumen del mayor equipo del edificio
 - b. utilizar acero, acero inoxidable o materiales plásticos especiales, que son resistentes a los cianuros, para la contención

Energía

Constituye una MTD:

- 6.5.12 minimizar el consumo de energía mediante el reciclado del calor liberado en la reacción de neutralización para evaporar el agua en la etapa de cristalización posterior (véase la Sección 6.5.2.4).

Consumo de agua

Constituye una MTD:

- 6.5.13 minimizar el consumo de agua dulce mediante una combinación de lo siguiente:
- a. reutilizar la filtración de la etapa de filtración en el cristalizador (véase la Sección 6.5.2.5)
 - b. reutilizar el agua de limpieza en el proceso de producción (véanse las secciones 6.5.4.3 y 6.5.3.6)
 - c. utilizar un sistema de limpieza in situ (véase la Sección 6.5.4.3).

Almacenamiento y embalaje de los productos

Constituye una MTD:

- 6.5.14 minimizar el riesgo de accidentes mediante el almacenamiento de cianuros en áreas independientes de las áreas donde se almacenan los oxidantes

de gran acción (por ejemplo, nitratos, cloratos, ácido nítrico o peróxidos), agua o productos que contienen agua (véase la Sección 6.5.2.11).

Constituye una MTD:

6.5.15 Minimizar la cantidad de residuos sólidos, mediante el uso, por ejemplo, de embalajes retornables para el transporte de cianuros sólidos (véase la Sección 6.5.4.5).

Almacenamiento de cianuros sólidos

Constituye una MTD:

6.5.16 guardar los cianuros sólidos en almacenes cubiertos, vallados y cerrados. Se incluyen (véase la Sección 6.5.4.9):

- a. asegurarse de que no puede entrar agua de lluvia ni superficial en los almacenes;
- b. proporcionar espumas alcalinas como agente de extinción de incendios en los almacenes que se utilizarán en caso de incendio.

Funcionamiento de la planta

Constituye una MTD:

6.5.17 usar un sistema de control computerizado para el funcionamiento de la planta (véase la Sección 6.5.4.6).

Constituye una MTD:

6.5.18 aplicar los principios del Código Internacional de Gestión del Cianuro (véase la Sección 6.5.4.8). Se incluyen:

- a. aplicación de normas estrictas en los aspectos de seguridad, medio ambiente y calidad en la producción de cianuros;
- b. realización de actividades como auditoría, certificación y formación del personal de planta

Formación del personal

Constituye una MTD:

6.5.19 tener un elevado nivel de educación y formación continua del personal (véase la Sección 6.5.4.11). Se incluye todo lo siguiente:

- a. Tener personal con educación básica sólida en ingeniería y operaciones químicas.
- b. Formación continua del personal de planta en los trabajos.

- c. Evaluación y registro periódicos del rendimiento del personal.
- d. Formación periódica del personal sobre cómo responder a las situaciones de emergencia, sobre salud y seguridad en el trabajo y sobre las normativas de seguridad de transporte.

6.5.6. Técnicas emergentes

Existen procesos patentados para la producción de cianuros con los que se realiza la formación directa del cianuro sólido en un reactor de lecho fluidificado mediante una solución alcalina y gas HCN como materias primas.

Se han patentado otros procesos para secar los cristales de cianuro en un reactor de lecho fluidificado (patente Degussa).

No obstante, en la actualidad estos procesos no se han aplicado industrialmente y, por lo tanto, todavía no se pueden considerar como MTD, sino como técnicas emergentes.

Cualquier proceso que conlleve directamente un material sólido transportable que cumpla las normas de calidad y seguridad que requiere el cliente resulta ideal para considerarse una MTD. Este es el caso de los procesos patentados para formar gránulos de cianuro sólido, pero este proceso todavía no se emplea en operaciones a gran escala y se debe considerar una tecnología nueva.

Los desarrollos en relación con la eliminación electroquímica de los cianuros en las aguas residuales se tratan en la Sección 7.4.

7. Técnicas emergentes

7.1. Descontaminación de gases de escape y aguas residuales mediante intercambiadores iónicos inorgánicos químicamente modificados y carbón activo

[38, Dr. Boenke, 2005]

Información general

Este proyecto financiado por la UE llevará a cabo una investigación exhaustiva e instalará una planta semipiloto con el objetivo de producir adsorbentes para la purificación de residuos industriales y agua potable de iones de metales pesados, radionúclidos y sustancias tóxicas orgánicas. Se estudiarán nuevos catalizadores para la descontaminación de emisiones gaseosas de H_2S , CO y NO. El proyecto combinará los últimos logros en el campo del desarrollo y aplicación de nuevos adsorbentes (ionitos orgánicos) y catalizadores (principalmente basados en carbonos sintéticos, de cáscara de fruta y minerales, así como en diferentes óxidos de composición). Ya se han desarrollado métodos de síntesis y se ha elaborado una tecnología para la aplicación de la producción de ionitos inorgánicos, basada en hidróxidos de titanio y circonio y fosfatos en forma de gránulos esféricos que poseen una elevada resistencia mecánica y una química superficial regulada. Estos materiales han demostrado tener propiedades mejores que la de la mayoría de resinas de intercambio de iones que se producen industrialmente en numerosos países. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es determinar las condiciones óptimas para la descontaminación de las aguas residuales típicas de los iones Cd^{2+} , Cr^{3+} , As^{3+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} y Hg^{2+} . La aplicación de estos ionitos, en combinación con carbonos activos y oxidados, resulta muy beneficiosa en la elaboración de cartuchos de uso doméstico para la purificación del agua potable de una gran cantidad de contaminantes orgánicos, radionúclidos (que contaminaron el medio ambiente después del accidente de Chernobyl) e iones de metales pesados, en concreto microcantidades de plomo que se han encontrado en el agua potable en algunos países, como Reino Unido y Alemania. El proyecto se puede dividir en las siguientes actividades de investigación: preparación de los materiales adsorbentes, caracterización de materiales como propiedades de superficie, morfología y propiedades mecánicas, intercambios de iones, comportamiento catalítico, optimización.

Logros

El nivel de rendimiento previsto para los dos objetivos es bastante distinto. En relación con los materiales carbonosos activos (incluidas la adsorción y la catálisis)

sis), los trabajos preliminares que han llevado a cabo los distintos participantes así como la existencia de una planta de producción semipiloto permitirá la preindustrialización de los materiales que se obtendrán. La probabilidad de éxito es mayor para las adsorciones de iones que para la catálisis destinada a la destrucción de los contaminantes gaseosos. La utilización de ionitos inorgánicos como adsorbentes tiene más futuro. Se espera que se verifique el potencial de los nuevos materiales y su eficacia en comparación con la de los materiales carbonosos.

Documentación de referencia

<http://www.cordis.lu/fp5/projects.htm>
<http://www.cordis.lu/fp6/projects.htm#search>
<http://www.cordis.lu/en/home.html>

7.2. Utilización de residuos industriales y especialmente residuos petroquímicos para la generación de energía con emisiones bajas

[38, Dr. Boenke, 2005]

Información general

El concepto se basa en un sistema de combustión confidencial combinado con un sistema de tratamiento por vía seca de gases de combustión en dos etapas y una caldera existente. El quemador se compone de una cámara de combustión subestequiométrica de elevada rotación, seguida de una cámara postcombustión a la que se añade aire secundario para garantizar un tiempo de residencia de 0,3 s y una temperatura de 1.200 °C. La geometría concreta junto con la configuración del flujo produce la combustión completa con bajos niveles de formación de NO_x, CO y dioxinas. El gas de combustión se desulfuriza mediante la inyección de piedra caliza triturada, junto con el gas de combustión recirculado para reducir la temperatura a un nivel de 1.100 – 1.150 °C. Tras la recuperación de calor, se añaden polvo de cal y vapor para la eliminación de HCl. Finalmente, el gas de combustión se limpia con filtros de bolsa.

Logros

La planta que utiliza esta técnica empezó a funcionar de forma completa en septiembre de 1988. La capacidad del quemador ha variado entre 120 y 450 kg de petróleo/h, mientras que para todas las pruebas el aire de combustión suministrado fue de 125 m³/h. La temperatura de funcionamiento del horno estaba en la gama de 1150 a 1250 °C y se controlaba mediante el reciclado de los gases de

combustión. El sistema de purificación de los gases de combustión se modificó considerablemente y se concluyó que no era necesaria la desulfurización por gas caliente, mientras que para la eliminación de HCl una combinación de inyección de piedra caliza y vapor en el reactor de decloración demostró ser eficaz y resolvió todos los problemas operativos de sólidos y la acumulación de CaCl₂. Con el filtro de bolsa no se encontró ningún problema.

Las mediciones de emisiones para polvo, CO, SO₂, HCl y carbono total se realizan de forma continua mientras que las mediciones de emisiones para compuestos halogenados inorgánicos (HF o fosgeno), compuestos aromáticos de BTEX, hidrocarburos clorados, PCB y PCDD se realizan periódicamente. También se debe indicar que la instalación no emite cantidades importantes de fosgeno, compuestos aromáticos de BTEX, hidrocarburos clorados y bifenilos policlorados y que siempre están por debajo de los límites estipulados por TA Luft. No obstante, las emisiones de dioxinas de los hornos siempre están cerca de los límites especificados por TA Luft y, aunque en contadas ocasiones se superan, el contratista tiene pensado seguir el trabajo de desarrollo en esta área. Sin embargo, se puede concluir que, desde el punto de vista de las emisiones, el sistema de cámaras de horno con rotación ha demostrado quemar los aceites residuales correctamente. Durante el período de demostración que finalizó en diciembre de 1989, la planta de demostración alcanzó casi el 80% de la capacidad planificada de combustión de aceites residuales y casi el 50% del ahorro de energía previsto. La reducción de capacidad se debió a la optimización técnica en el sistema de purificación de gases de combustión mientras que el menor ahorro de energía se debió a la utilización de un calentador de tipo radiación antiguo en vez de una caldera de convección.

Documentación de referencia

<http://www.cordis.lu/fp5/projects.htm>
<http://www.cordis.lu/fp6/projects.htm#search>
<http://www.cordis.lu/en/home.html>

7.3. Filtración del aire para la reducción de los compuestos volátiles de cromo en la industria del curtido

[38, Dr. Boenke, 2005]

Objetivos

La finalidad de este proyecto financiado por la UE es la identificación de tecnologías innovadoras para la reducción de contaminantes atmosféricos (principal-

mente cromo) de los efluentes gaseosos de la industria del curtido, para su aplicación a plantas pequeñas principalmente para el uso de pequeñas y medianas empresas; una opción adecuada conectaría una eficacia razonable con costes reducidos en inversión y mantenimiento. Se desarrollará, probará y certificará un prototipo de un sistema de filtrado innovador para compuestos de cromo con una implicación directa de los socios que lo utilizarán. El sistema tendrá que cumplir requisitos técnicos precisos, así como económicos, que puedan garantizar su aplicabilidad real y sostenible (también para empresas de curtido de menor tamaño).

Documentación de referencia

<http://www.cordis.lu/fp5/projects.htm>
<http://www.cordis.lu/fp6/projects.htm#search>
<http://www.cordis.lu/en/home.html>

7.4. Desarrollo y aplicación de electrodos cerámicos avanzados para la eliminación electroquímica de cianuros en aguas residuales

[38, Dr. Boenke, 2005]

Información general

Los baños con compuestos de cianuro se cuentan entre los más utilizados en las industrias galvánicas. Esta presencia industrial destacada de los cianuros se ha cuestionado mucho debido a su elevada toxicidad. Entre los nuevos métodos de tratamiento de las aguas residuales contaminadas con cianuros, se debe destacar la oxidación electrocatalítica de los contaminantes inorgánicos en electrodos cerámicos de sobretensión con elevada presencia de oxígeno. Un ejemplo de esta técnica es la AED (ánodos estables dimensionalmente) que se utiliza en la industria de compuestos cloro-alcalinos. Un proyecto financiado por la Unión Europea cuyo objetivo es desarrollar electrodos cerámicos porosos que tengan una actividad electrocatalítica más intensa como resultado de su elevada relación área-volumen. El punto inicial será la tecnología AED y los diferentes procedimientos de polvos cerámicos de procesamiento, como las estructuras similares a SnO y perovskite, que se aplicarán.

Como la eliminación electromecánica de los cianuros en aguas residuales es una técnica que consume mucha energía, se plantean cuestiones tales como si tiene viabilidad económica en la producción de cianuros descrita en la Sección 6.5. No obstante, la técnica se puede aplicar en los casos en que los tratamientos quími-

cos (por ejemplo, la oxidación química) no son factibles o posibles (como es el caso de aplicaciones de uso final de poco volumen, donde una depuradora dedicada a tal propósito no es viable económicoamente).

Documentación de referencia

<http://www.cordis.lu/fp5/projects.htm>
<http://www.cordis.lu/fp6/projects.htm#search>
<http://www.cordis.lu/en/home.html>

8. Observaciones finales

La directiva IPPC no define el término «especialidades químicas inorgánicas» y no hay una definición común de este término en la industria. Esto supone una mayor dificultad para definir el ámbito de este documento y necesita un tratamiento adecuado de la posible interacción con otros BREF químicos, en concreto el BREF LVIC-S [24, European IPPC Bureau, 2004].

Es importante tener en cuenta que las técnicas de reducción de final de línea, cuyo uso en el sector de las SIC se ha indicado a lo largo de este trabajo, son técnicas comunes que se emplean en el sector químico y que se han descrito con más detalle en el BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

Había algunas cuestiones al principio de este trabajo con respecto a si el ácido cianhídrico (HCN, que es una materia prima importante para las sustancias SIC, por ejemplo, cianuros; véase la Sección 6.5) e hidrazina entraban en el ámbito de las SIC. Se consideró que estas dos sustancias no son SIC. No obstante, ambas son sustancias inorgánicas y su producción suscita cuestiones medioambientales de importancia que justifican su estudio en un documento BREF. Como el ácido cianhídrico es una sustancia química que se produce en grandes cantidades, su producción se podría abordar en una revisión del BREF LVIC-AAF. En relación con la hidrazina, sólo hay dos productores en Europa que utilizan distintas vías de producción y se encuentran en situación de gran competencia, lo que podría ser un obstáculo para un intercambio significativo de información sobre las MTD.

8.1. Calendario del proceso de trabajo

El intercambio de información sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para la producción de las SIC se efectuó en un plazo aproximado de dos años, de octubre de 2003 a noviembre de 2005. El trabajo supuso dos reuniones plenarias del grupo de trabajo y se enviaron dos borradores completos de este documento para su consulta a todo el grupo de trabajo. Los hitos del trabajo en este documento se muestran en la Tabla 8.1.

Tras la reunión final, se organizó una breve consulta del grupo de trabajo sobre el resumen, las observaciones finales y el capítulo y las secciones sobre MTD modificados antes de realizar el borrador final de este documento.

Tabla 8.1. Hitos para el trabajo sobre el BREF de especialidades químicas inorgánicas

Reunión inicial (1 ^a reunión plenaria del grupo de trabajo)	27 – 28 de octubre de 2003
Primer borrador enviado para su consulta	Septiembre de 2004
Segundo borrador enviado para su consulta	Mayo de 2005
Reunión final para las conclusiones sobre la MTD (2 ^a reunión plenaria del grupo de trabajo)	21 – 24 de noviembre de 2005

8.2. Fuentes de información y desarrollo de este documento

En la reunión inicial se tomó la decisión de centrarse en seis familias de sustancias SIC (es decir, pigmentos inorgánicos especiales, compuestos de fósforo, siliconas, explosivos inorgánicos, cianuros y sales inorgánicas de níquel), por tanto, la información enviada sólo se ocupa de estas familias, con lo que sólo se trata parcialmente todo el sector de las SIC que, evidentemente, abarca un número mayor de sustancias químicas.

El grupo de trabajo (compuesto por 67 expertos de los Estados miembros, del sector y de la Comisión Europea junto con una ONG medioambiental) fue la principal fuente de información utilizada para elaborar este documento.

El grupo de trabajo proporcionó información para el trabajo sobre las SIC principalmente a través de:

- informes y documentos elaborados con el fin de facilitar información adecuada para el desarrollo de este documento (es decir, para cada una de las familias representativas de las sustancias SIC estudiadas);
- comentarios sobre los dos borradores enviados (se recibieron unos 600 comentarios sobre el primer documento y unos 400 sobre el segundo);
- respuestas a las solicitudes de información adicionales desarrolladas por la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación;
- respuestas a los correos electrónicos y llamadas telefónicas de la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación;
- visitas a las instalaciones.

Los informes remitidos por Alemania [2, Dr. Köppke, 2003, 5, Dr. Köppke, 2003, 11, Dr. Köppke, 2004, 17, Rudolph and Köppke, 2003], Cefic [10, ANFFECC/CERAMICOLOR/EPSOM/VdMi, 1998, 16, CEFIC Cyanide Sector and Working Group, 2004] y UEE [15, Castresana, 2004] se pueden considerar los fundamentos del primer borrador de este documento.

A pesar del hecho de que, al enviar el primer borrador, se indicó al grupo de trabajo que se carecía de información en relación con los niveles de consumo y emi-

siones en el sector de las SIC y las técnicas que se debían tener en cuenta en la determinación de las MTD (Capítulo 4 y las secciones 6.X.4 de este documento), sólo se envió información adicional como respuesta a la consulta sobre el primer borrador. No obstante, en el segundo borrador se complementó el Capítulo 4 (sobre las técnicas que se debían tener en cuenta para la determinación de las MTD) principalmente con técnicas derivadas de la parte específica/ilustrativa de este documento (Capítulo 6) y del BREF CWW.

En el segundo borrador de este documento, se eliminó la sección sobre sales inorgánicas de níquel (que aparecía en la Sección 6.6 del primer borrador). Esta decisión se tomó debido a que el trabajo de esta sección no avanzaba a la misma velocidad que las demás y a que llevar esta sección al mismo nivel de finalización podría haber afectado al objetivo de celebrar la reunión plenaria final del grupo de trabajo antes de finales de 2005 (la reunión final del grupo de trabajo se celebró del 21 al 24 de noviembre de 2005). La información intercambiada sobre la producción de sales inorgánicas solubles de níquel hacía difícil, si no imposible, llegar a conclusiones sobre MTD. A pesar de esto, y para conservar la información valiosa que se facilitó para uso futuro (por ejemplo, para la revisión de este documento), se preparó un documento aparte que recoge los resultados de la información intercambiada sobre la producción de estas sustancias [49, European IPPC Bureau, 2005]. Asimismo, se debe tener en cuenta que se han desarrollado partes genéricas/comunes de modo que este documento se podría utilizar en el proceso de autorización de instalaciones que producen especialidades químicas que no se tratan específicamente en el Capítulo 6.

Parte de la información para el trabajo sobre las SIC también se obtuvo gracias a las visitas a las instalaciones de las SIC. En relación con este documento, la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación visitó un total de nueve instalaciones de las SIC. Estas visitas se realizaron en Italia (pigmentos), Francia (siliconas), España (explosivos), Alemania (compuestos de fósforo y cianuros) y Finlandia (sales inorgánicas de níquel). Un miembro del grupo de trabajo organizó las visitas y, por lo general, acompañó las mismas.

Además, la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación elaboró un cuestionario con el fin de obtener datos específicos del emplazamiento (o de la instalación) sobre los niveles de consumo y de emisiones así como sobre las técnicas empleadas para reducir el impacto medioambiental en las instalaciones de las SIC. No obstante, sólo se rellenó y envió a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación una cantidad muy reducida de estos cuestionarios. En el sector se indicó que la falta de respuesta se debió a la preocupación sobre la confidencialidad de algunos datos solicitados. El cuestionario se presenta como un anexo de este documento (véase la Sección 9.1).

8.3. Nivel de consenso alcanzado

Las conclusiones del trabajo y especialmente sobre las MTD para el sector de las SCI, se acordaron en la reunión final plenaria del grupo de trabajo en noviembre de 2005. Se alcanzó un consenso y no se registraron opiniones divergentes durante esta reunión final. Se debe tener en cuenta que el sector facilitó pocos datos reales de rendimiento. Los principales motivos que se indicaron fueron la elevada competencia y el reducido número de empresas en determinados sectores de las SIC (en concreto, para la producción de siliconas y compuestos de fósforo).

No se han extraído conclusiones sobre MTD genéricas aplicables a la reducción de la presencia de metales pesados en las aguas residuales. Sin embargo, sí se han deducido conclusiones sobre MTD específicas en relación con la reducción de la presencia de metales pesados de aguas residuales de tres de las cinco familias representativas de las sustancias SIC estudiadas en el documento: para especialidades de pigmentos inorgánicos especiales (véanse la Sección 6.1.5, MTD 6.2.5 y MTD 6.1.11), para siliconas (véanse la Sección 6.2.5 y MTD 6.3.14) y para explosivos inorgánicos (véanse la Sección 6.4.5 y MTD 6.4.7). Para obtener información sobre la reducción de los metales pesados en la producción de sustancias no incluidas en las familias representativas de este documento, el grupo de trabajo recomienda consultar BREF CWW [21, European IPPC Bureau, 2003].

8.4. Recomendaciones para trabajos futuros

En otros documentos (principalmente en el BREF CWW) ya se han descrito numerosas técnicas beneficiosas para el medio ambiente empleadas en el sector de las SIC, por tanto, en el Capítulo 4 del presente documento sólo se describen brevemente. No obstante, no siempre se indican cuestiones específicas en relación con la aplicación de estas técnicas para el sector industrial de las SIC, especialmente en los encabezados Datos operativos, Aplicabilidad y Ejemplos de plantas. El trabajo futuro podría proporcionar la información que falta.

Por lo general, faltan datos de rendimiento reales sobre los niveles de consumo y emisiones, y, más específicamente, sobre el consumo de energía y agua. En el área de las SIC explosivas, los datos presentados principalmente se derivan de una instalación en España (aunque en el desarrollo de este trabajo se ha identificado la producción de explosivos inorgánicos en varios países de la UE, se cree que cada Estado miembro tiene instalaciones para la producción de explosivos inorgánicos con fines defensivos). La falta de datos sobre explosivos no permitió al grupo de trabajo deducir los niveles de consumo y emisiones asociados a las MTD para el tratamiento de las aguas residuales en la producción de las SIC explosivas. En el área de las siliconas, los compuestos de fósforo y los cianuros,

los datos facilitados eran globales o agregados, lo que dificultaba la determinación de las MTD y de los niveles de consumo y emisiones asociados a las MTD. La explicación que se daba en el sector es que las empresas de las SIC eran reacias a facilitar datos de rendimiento específicos de las instalaciones (es decir, desagregados) por la preocupación de que dichos datos se pudieran presentar en este documento de un modo que no garantizara la confidencialidad o que pudiera permitir a la competencia calcular los costes de producción (lo que, según explicó el sector, iba en contra de las leyes de la competencia). En un trabajo futuro se podrían buscar datos de rendimiento reales (desagregados) para cada una de las familias representativas que ya se han tratado en este documento, así como para cualquier nueva familia representativa. Esto ayudaría a deducir niveles de consumo y emisiones asociados a las MTD, en concreto, para el tratamiento de las aguas residuales en la producción de siliconas y para aumentar el número de contaminantes tratados en la conclusión de MTD en relación con la reducción de metales pesados en la producción de pigmentos inorgánicos (MTD 6.1.12). Para mantener la confidencialidad de la información, así como para respetar las leyes de la competencia, los datos desagregados que se consideraran confidenciales podrían presentarse en este documento de una forma agregada después de que la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación hubiera efectuado los análisis necesarios.

Hubo carencia de información sobre las técnicas empleadas o que se podrían haber empleado en el sector de las SIC para ahorrar energía o para recuperar calor/energía. Esta información se podría haber recogido junto con los datos de rendimiento asociados. Esto resulta muy importante para las producciones de las SIC en las que se realiza un uso intensivo de la energía, tales como pigmentos, compuestos de fósforo y siliconas.

Hubo carencia de información de los diez nuevos Estados miembros a pesar del hecho de que las instalaciones de las SIC se han identificado en estos países (por ejemplo, explosivos inorgánicos o cianuros). El trabajo futuro podría proporcionar la información que falta.

En este trabajo hay muy poca información sobre la monitorización. Asimismo, cuando se enviaron los datos sobre niveles de consumo y emisiones, no siempre se facilitó el régimen de monitorización asociado a los datos. Esto generó cierta falta de claridad en determinadas conclusiones de MTD donde se utilizaban los niveles de emisión asociados (por ejemplo, la conclusión de MTD genérica sobre la reducción del polvo total o la conclusión de MTD sobre la reducción de polvo total en la producción de pigmentos inorgánicos). En un trabajo futuro se podría examinar esta cuestión más de cerca (por ejemplo, las emisiones características del sector, cuestiones de monitorización especiales, técnicas de monitorización específicas del sector y de las sustancias o control de calidad de toda la cadena de información en relación con la monitorización).

Tal como se ha indicado anteriormente en la Sección 8.2, así como en otras partes del presente documento, el intercambio de información sobre las sales inorgánicas solubles de níquel no pudo llevarse a un nivel que permitiera la extracción de conclusiones sobre las MTD, por lo que se decidió suprimir la sección de las sales inorgánicas de níquel. A partir de la información ya enviada que se ha compilado en un documento aparte (véase la Sección 8.2), el trabajo futuro podría aportar la información que falta y que permitiría extraer conclusiones para esta familia de las SIC (en concreto, datos de rendimiento reales sobre los consumos y emisiones así como las técnicas candidatas para tenerlas en cuenta para las MTD). Además, las sales inorgánicas solubles de níquel no son las únicas sales inorgánicas que se podrían tener en cuenta en el ámbito de las SIC. Por lo tanto, el trabajo futuro podría incluir la ampliación de intercambio de información a otras sales inorgánicas (por ejemplo, sales inorgánicas de cobre que en ocasiones se producen en las mismas instalaciones que las sales de níquel).

La producción de especialidades de pigmentos inorgánicos mediante procesos químicos se trata en este documento, en la Sección 6.1. Hay otras vías de producción de especialidades de pigmentos inorgánicos (por ejemplo, óxidos de hierro), es decir, mediante procesos de producción no químicos. Un trabajo futuro podría ofrecer la comparación entre vías de producción químicas y no químicas.

8.5. Sugerencias de temas para futuros proyectos de I+D

En este trabajo se ha identificado que el polvo es uno de los principales problemas medioambientales en la producción de SIC. El grupo de trabajo detectó varios factores importantes que deben tenerse en cuenta al elegir sistemas de reducción de polvo. Estos factores están relacionados tanto con las características del polvo (por ejemplo, tamaño, peso, dureza; véase la Sección 4.4.2.1) como con las propiedades del gas portador (por ejemplo, caudal, temperatura, humedad). Sin embargo, la información presentada en este documento no establece correlación alguna entre estos factores y las técnicas de reducción que se indican para reducir el polvo (las técnicas de reducción de polvo se describen en la Sección 4.4.2.1). Por lo tanto, resultaría ventajoso investigar acerca de la relevancia de estos factores para cada una de las técnicas que se presentan. Esto no sólo sería útil en la posible revisión futura del presente documento, sino también en la revisión de otros BREF, particularmente el BREF CWW.

En la producción de explosivos inorgánicos, el plomo del agua residual se elimina mediante precipitación. Si se utiliza carbonato de sodio como agente de precipitación, la concentración de plomo en el agua que sale tras la etapa de precipitación continúa siendo relativamente alta (por ejemplo, 5 mg/l en una instalación española). La investigación podría identificar las condiciones específicas en la producción de explosivos que limitan el rendimiento de la precipitación y las maneras de superarlas.

Mediante sus programas de IDT, la Comunidad Europea lanza y apoya una serie de proyectos sobre tecnologías limpias, tecnologías emergentes de tratamiento y reciclado de efluentes, y estrategias de gestión. Estos proyectos podrían aportar una contribución útil para futuras revisiones del BREF. Por lo tanto, se ruega a los lectores que informen a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) de todos los resultados de las investigaciones que competen al ámbito de este BREF (véase también el prefacio).

Referencias

- 1 Ullmann (2001). «Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition, Electronic Release».
- 2 Dr. Köppke, K.-E. (2003). «Manufacture of Phosphorus Compounds», German Federal Environmental Agency, Berlin.
- 3 UNEP; ILO and WHO (1989). «Phosphorus trichloride and phosphorus oxychloride health and safety guide», World Health Organization (WHO), <http://www.inchem.org/documents/hsg/hsg/hsg035.htm>.
- 5 Dr. Köppke, K.-E. (2003). «Silicon and Silicon compounds», German Federal Environmental Agency, Berlin.
- 7 Dr. Held, W. (2003). «Silicones - Their Science, Production and Major Qualities», Centre European des Silicones.
- 8 European IPPC Bureau (2003). «Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage», European Commission.
- 9 Vito (2001). «Beste Beschikbare Tecnieken voor de Gieterijen», 90 382 0312 8.
- 10 ANFFECC/CERAMICOLOR/EPSOM/VdMi (1998). «Ceramic Decorating Materials».
- 11 Dr. Köppke, K.-E. (2004). «BAT Notes for the Production of Silicones», CES - Centre Européen des Silicones.
- 15 Castresana, J. M. (2004). «SIC-EXPLOSIVES - CONTRIBUTION FROM UEE», Union Española de Explosivos, S.A.
- 16 CEFIC Cyanide Sector and Working Group (2004). «Proposal for BREF on Speciality Inorganic Chemicals (SIC) Cyanides», CEFIC.
- 17 Rudolph, P. D. and Köppke, D. (2003). «Investigations concerning Integrated Environmental Protection in Certain Industrial Productions (Manufacture of Speciality Chemicals) Industrial Inorganic Pigments», Federal Environmental Agency, Berlin.

- 18 European IPPC Bureau (2004). «Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals», European Commission.
- 21 European IPPC Bureau (2003). «Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector», European Commission.
- 24 European IPPC Bureau (2004). «Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Large Volume Inorganic Chemicals (Solids and others)», European Commission.
- 29 Cefic (2004). «Facts and Figures», Cefic, http://www.cefic.org/factsandfigures/level02/profile_index.html.
- 30 European IPPC Bureau (2003). «Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry», European Commission.
- 31 European IPPC Bureau (2000). «Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems», European Commisssion.
- 32 European IPPC Bureau (2004). «Draft Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants», European Commission.
- 33 European Industrial Gases Association (1999). «Hazards of inert gases», IGC Doc 44/00/E.
- 34 European IPPC Bureau (2004). «Draft Referencce Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration», European Commission.
- 35 European IPPC Bureau (2004). «Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries», European Commisssion.
- 36 European IPPC Bureau (2003). «Reference Document on the General Principles of Monitoring», European Commission.
- 37 European IPPC Bureau (2003). «Draft Reference Document on Economics and Cross-Media Effects», European Commission.
- 38 Dr. Boenke, A. (2005). «List of Different Research Projects Relevant to Speciality Inorganic Chemicals (SIC) BREF», European Commission.

- 39 Karschunke, K. (2004). «Additional Information from UBA-Germany on the production of inorganic pigments», German Federal Environmental Agency, Berlin.
- 40 ZANTE, H. (2004). «Comments from SFEPA on BREF “Speciality inorganic chemical (SIC) explosives”».
- 41 H2O2.com (2003). «Cyanide treatment with peroxygen compounds», H2O2.com, <http://www.h2o2.com/applications/industrialwastewater/cyanide.html>.
- 45 European IPPC Bureau (2004). «Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals, Ammonia, Acids and Fertilisers Industries», European Commisssion.
- 46 Research and Markets (2001). «The Chemical Industry Market Report - Jan 2001», Key Note Publications Ltd, http://www.reserachandmarkets.com/reportinfo.asp?report_id=3870.
- 47 Dr Pflug, K. (2003). «Participation models in speciality chemicals», *Arthur D Little Chemicals Executive Newsletter*, Summer 2003.
- 49 European IPPC Bureau (2005). «Information Exchanged on the Production of Soluble Inorganic Salts of Nickel between October 2003 and April 2005».

Glosario de términos y abreviaciones

Término o abreviación	Significado
Abhesivos	Los abhesivos son películas o revestimientos que se utilizan para impedir o reducir en gran medida la adhesión.
Ácido	Compuesto químico que puede ceder protones. Una sustancia que en disolución con el agua produce iones de hidrógeno.
Efecto agudo	Efecto adverso sobre algún organismo vivo en el que se desarrollan rápidamente síntomas graves que suelen subsistir aunque el organismo deje de estar expuesto.
Toxicidad aguda	Efectos adversos que resultan de una única dosis o una única exposición a un producto químico; cualquier tipo de envenenamiento producido en un período de tiempo breve, normalmente menos de 96 horas. Este término suele utilizarse para describir los efectos sobre animales de laboratorio. La toxicidad aguda se mide determinando el valor de LD ₅₀ . LD ₅₀ es la cantidad de material (normalmente expresada como dosis por vía oral en mg del producto químico/kg de peso corporal del animal del ensayo) administrada una sola vez por una determinada vía (oral, cutánea, etc.) que se espera mate al 50% de un grupo de animales de laboratorio, habitualmente ratas.
Aireación	Acción de mezclar un líquido con aire (oxígeno).
Agregado	Conjunto de partículas primarias que se han fundido y forman una estructura sinterizada encarada.
Aglomerado	Red de agregados conectados débilmente en puntos discontinuos.
Al	Aluminio.
Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio.
Álcali	Varios compuestos solubles en agua capaces de poner azul el papel de tornasol y que reaccionan con un ácido para formar una sal y agua.
Anilina	Base orgánica perteneciente a las fenilaminas. Es una amina líquida incolora, oleosa y venenosa. Puede considerarse amoníaco en el que un átomo de hidrógeno se ha reemplazado por el radical fenilo.
AOX	Compuestos organohalogenados adsorbibles. La concentración total en miligramos por litro, expresada como cloro, de todos los compuestos halogenados (es decir, cloro, bromo, yodo y ástato, a excepción del flúor) presentes en una muestra de agua que pueden ser adsorbidos en carbón activo.
As	Arsénico.

Término o abreviación	Significado
Ba	Bario.
MTD	Mejores técnicas disponibles.
Bi	Bismuto.
Biodegradable	Que puede ser descompuesto física y/o químicamente por microorganismos. Por ejemplo, muchas sustancias químicas, los restos de alimentos, el algodón, la lana y el papel son biodegradables.
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno: la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para descomponer materia orgánica. La unidad de medida es mg O ₂ /l. En Europa, la DBO suele medirse tras 3 (DBO ₃), 5 (DBO ₅) o 7 (DBO ₇) días.
BREF	Documento de referencia sobre MTD
BTEX	Benceno, tolueno, etilbenceno o xilenos.
°C	Grados Celsius.
CaCl ₂	Cloruro cálcico.
CAS	Chemical Abstracts Service.
Cd	Cadmio.
CEFIC	Consejo Europeo de la Industria Química.
CEH	Chemical Economics Handbook.
CHF	Franco suizo.
CHP	Combinación de calor y energía.
CIC	Pigmentos inorgánicos complejos.
LIS	Sistema de limpieza in situ.
Cl	Cloro.
Cl ⁻	Ion cloruro.
Cl ₂	Cloro gaseoso.
CN ⁻	Ion cianuro.
Co	Cobalto.
CO	Monóxido de carbono.
CO ₂	Dióxido de carbono.
CO ₃ ²⁻	Ion carbonato.
DQO	Demanda química de oxígeno: cantidad de dicromato de potasio, expresada como oxígeno, necesaria para oxidar químicamente a aproximadamente 150 °C las sustancias que contiene el agua residual.
Agua de refrigeración	Agua que se utiliza para la transferencia de energía (refrigeración, calentamiento), que se mantiene en una red aparte del agua industrial y que puede volver a vertirse a las aguas receptoras sin ningún tratamiento adicional.

Término o abreviación	Significado
Cr	Cromo.
Cr(III)	Cromo trivalente.
Cr(VI)	Cromo hexavalente.
Efectos cruzados	Cálculo del impacto medioambiental de los vertidos al agua, a la atmósfera y al suelo, el uso energético, el consumo de materias primas, el ruido y la extracción de agua; es decir, todo lo requerido por la Directiva IPPC).
Cu	Cobre.
CWW	BREF sobre el tratamiento y la gestión de aguas y gases residuales en el sector químico.
dB	Decibelio.
CC	Corriente continua.
Emisión difusa	Emisiones que surgen por contacto directo de sustancias volátiles o ligeramente pulverulentas con el entorno (atmósfera, bajo condiciones operativas normales). Pueden ser el resultado de: <ul style="list-style-type: none"> • el diseño inherente del equipo (filtros, secaderos, etc.) • las condiciones operativas (por ejemplo, durante la transferencia de material entre contenedores) • el tipo de operación (por ejemplo, actividades de mantenimiento) • o de una liberación gradual a otros medios (por ejemplo, agua de refrigeración o agua residual) Las emisiones fugitivas son un subconjunto de las emisiones difusas y suelen referirse a sustancias que acceden al medio ambiente a causa de fugas en los equipos. El término emisiones difusas es más habitual en el caso de sustancias pulverulentas. Véase también la definición de «Emisiones fugitivas» más adelante.
Fuentes difusas	Fuentes de múltiples emisiones difusas o directas distribuidas dentro de un área definida.
Escoria	Espuma o materia rechazada que se expulsa o cae de los metales al fundir el mineral metalífero o bien en el proceso de fusión.
DS	Sólidos secos (contenido). La masa de un material que queda tras el proceso de secado según un método estándar de prueba.
DSA	Ánodos dimensionalmente estables.
Polvo	Partícula sólida producida mecánicamente con tamaños que van desde submicroscópicos a macroscópicos.
CE	Comunidad Europea.
EC ₅₀	Concentración de efecto 50. La concentración en la que se observan efectos en el 50% de la población de ensayo tras la administración de una sola dosis. Los efectos incluyen la inmovilización de dafnia, la inhibición del crecimiento, la división celular o la producción de biomasa, o la producción de clorofila por algas.

Término o abreviación	Significado
Efluente	Fluido físico (aire o agua junto con contaminantes) que forma una emisión.
EINECS	Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes.
EIPPCB	Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.
Electrólisis	Proceso que descompone un compuesto químico o produce un compuesto nuevo por la acción de una corriente eléctrica. La corriente eléctrica se conduce a través de una celda electrolítica y, en los electrodos, se producen reacciones de oxidación/reducción; por ejemplo, el agua puede descomponerse en hidrógeno y oxígeno mediante la electrólisis.
Emisión	Liberación directa o indirecta de sustancias, vibraciones, calor o ruido de fuentes individuales o difusas en la instalación en el aire, el agua o el suelo.
Valores límite de emisión	Masa, expresada mediante determinados parámetros específicos, concentración y/o nivel de una emisión, que no pueden superarse durante uno o varios períodos de tiempo.
Técnica/medida de final de línea	Técnica/medida que reduce los consumos o emisiones finales mediante algún proceso adicional pero que no cambia el funcionamiento fundamental del proceso central. Sinónimos: técnica/medida secundaria, técnica/medida de reducción. Antónimos: técnica/medida integrada en los procesos, técnica/medida primaria (una técnica/medida que cambia de algún modo el funcionamiento del proceso central reduciendo de este modo las emisiones o consumos brutos).
EOP	Final de línea.
EOX	Total de haluros orgánicos extraíbles.
EPER	Registro europeo de emisiones contaminantes.
ESP	Precipitador electrostático.
Eutrofización	Contaminación de un cuerpo de agua mediante aguas residuales, fertilizadores diluidos y residuos industriales (nitratos inorgánicos y fosfatos). Estos compuestos estimulan el crecimiento de algas, reduciendo el contenido de oxígeno en el agua y matando animales con elevados requisitos de oxígeno.
UE	Unión Europea.
EUR	Moneda euro.
UE-15	Los primeros 15 países que se unieron a la Comunidad o Unión Europea.
Instalación existente	Instalación en funcionamiento o, según la legislación existente antes de la fecha de entrada en vigor de esta Directiva, instalación autorizada o capacitada para presentar una solicitud de autorización según los requisitos de la autoridad competente, siempre que la instalación entre en funcionamiento durante el año siguiente a la entrada en vigor de esta Directiva.

Término o abreviación	Significado
Fe	Hierro.
FGD	Desulfurización de gases de combustión.
FHM	Agente de floculación.
Floculación	Proceso en el que las partículas de un coloide se agregan para formar aglomerados más grandes. A menudo se utiliza el término para la agregación reversible de partículas en las que las fuerzas que mantienen unidas esas partículas son débiles y el coloide se puede volver a dispersar mediante agitación.
Emisión fugitiva	Emisión causada por equipos no estancos/fugas: emisión en el entorno resultante de una falta de estanqueidad gradual de un equipo diseñado para contener un fluido (gaseoso o líquido), básicamente causada por una diferencia de presión que provoca una fuga. Ejemplos de emisiones fugitivas: fugas de una brida, una bomba o un equipo sellado.
g	Gramo.
GAC	Carbón activo granular.
PIB	Producto interior bruto.
GE	Empresa General Electric.
h	Hora.
H	Hidrógeno.
H ⁺	Ion hidrógeno.
Residuos peligrosos	Residuos con propiedades peligrosas que pueden hacerlos perjudiciales para la salud de las personas o para el medio ambiente.
HCl	Cloruro de hidrógeno. Ácido clorhídrico.
HCN	Cianuro de hidrógeno. Ácido cianhídrico
HCOO ⁻	Formiato.
H ₂ O	Agua.
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrógeno.
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico.
HEAF	Filtro de aire de elevada eficacia.
HEPA	Filtro absoluto para partículas de elevada eficacia.
Metales pesados	La documentación técnica los describe como metales con una densidad mayor que 4,5 g/ml. Según esta definición, la mayoría de los elementos químicos son metales pesados.
HF	Fluoruro de hidrógeno.
Hg	Mercurio.
HNO ₃	Ácido nítrico.
HP	Alta presión.

Término o abreviación	Significado
HVU	Unidad de alto vacío. Unidad de producción (etapa de la línea de producción) que funciona bajo vacío.
IARC	Organismo internacional de investigación sobre el cáncer.
CRG	Grandes recipientes para mercancías a granel
IEF	Foro de Intercambio de Información: entidad de asesoramiento informar en el marco de la Directiva IPPC.
Gas inerte	Gas no tóxico, incompatible con la respiración humana y que apenas reacciona con otras substancias o no lo hace en absoluto. Los principales gases inertes son el nitrógeno y los gases raros, como helio, argón, neón, xenón y criptón.
Instalación	Unidad técnica estacionaria en la que se llevan a cabo una o varias de las actividades que aparecen en el Anexo I y cualquier otra actividad directamente asociada que tiene una conexión técnica con las actividades desarrolladas en el emplazamiento y que podrían tener efectos sobre la contaminación y las emisiones.
IPC	Precursor del IPPC en Reino Unido.
IPPC	Prevención y control integrados de la contaminación.
ISO	Organización Internacional para la Normalización.
J	Julio.
K	Kilo.
K ⁺	Ion potasio.
KCN	Cianuro de potasio.
KOH	Hidróxido potásico.
kPa	Kilopascal.
kW	Kilovatio.
kWh	Kilovatio/hora.
LA	Azida de plomo.
LC ₅₀	Concentración letal media. La concentración más baja de una sustancia en el agua o en el aire ambiente en miligramos por litro suficiente para provocar la muerte en el 50% de la población de muestra en un período de tiempo definido (por ejemplo, 96 horas para peces, 48 horas para dafnia).
LD ₅₀	Dosis letal media. La dosis más baja de una sustancia administrada a especies, como ratones y ratas, suficiente para causar la muerte en el 50% de la población de muestra en un período de tiempo definido (no más de 14 días) expresada en miligramos de la sustancia por kilogramo de peso corporal.
LEL	Límite explosivo inferior.
LP	Baja presión. Picrato de plomo.

Término o abreviación	Significado
LTNR	Trinitrorresorcinato de plomo.
LVIC	Industria química inorgánica de gran volumen de producción.
LVIC-S	Industria química inorgánica de gran volumen de producción - sólidos y otros productos.
LVOC	Industria química orgánica de gran volumen de producción.
Mata	Mezcla de sulfuros que se forma al fundir minerales metalíferos con sulfuros (que contienen, por ejemplo, níquel, cobre, cobalto).
MeCl	Cloruro de metilo.
MF	Microfiltración (proceso de membrana).
MeOH	Metanol.
Mg	Miligramo.
m ³	Metro cúbico.
Monitorización	Proceso para evaluar o determinar el valor real y las variaciones de una emisión u otro parámetro, basándose en procedimientos de control, inspección, muestreo y medición sistemáticos, periódicos o puntuales, o en otros métodos de evaluación que proporcionen información sobre las cantidades emitidas y/o las tendencias para contaminantes emitidos.
Licor madre	Caudal de agua residual que se origina directamente a partir de una síntesis o reacción química, por regla general con mucha concentración de productos, materias primas o subproductos, sobre todo las descargas acuosas iniciales.
MPa	Megapascal.
Efectos sobre varios medios	Véase efectos cruzados.
MW	Megavatio.
MWh	Megavatio/hora.
N	Nitrógeno.
N ₂	Nitrógeno gaseoso.
N/A o n/a	No aplicable o bien no disponible (según el contexto).
N/D o n/d	Sin datos.
NACE	Asociación nacional de ingenieros en corrosión.
NaOCl	Hipoclorito sódico.
NaClO ₄	Perclorato sódico.
NaCN	Cianuro sódico.
NaNO ₂	Nitrito sódico.
NaOH	Hidróxido sódico. Llamado también sosa cáustica.
Na ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato sódico.

Término o abreviación	Significado
Na_2CO_3	Carbonato sódico, sosa. Llamado también ceniza de sosa.
NF	Nanofiltración (proceso de membrana).
NFM	Metal no férreo (BREF).
ng	Nanogramo.
ONG	Organización No Gubernamental.
NH_3	Amoníaco.
NH_4^+	Ion amoníaco.
$\text{NH}_4\text{-N}$	Contenido en nitrógeno en forma de NH_3 o NH_4^+ .
Ni	Níquel.
Nm^3	Metro cúbico normal. Habitualmente a 0 °C y 101,3 kPa.
N_2O	Óxido nitroso.
NO	Óxidos de nitrógeno.
NO_2	Dióxido de nitrógeno
NO_3^-	Nitrato.
$\text{NO}_3\text{-N}$	Nitrato de nitrógeno.
NO_x	Óxidos de nitrógeno (mezcla de NO y NO_2).
O_2	Oxígeno gaseoso.
O_3	Ozono.
OCl^-	Ion hipoclorito.
OCN^-	Ion cianato.
OFC	Química Fina Orgánica.
OJ	Diario oficial.
Titular	Persona natural o jurídica que se encarga del funcionamiento o control de la instalación o, según se prevé en la legislación nacional, a la que se ha delegado poder económico de decisión sobre el funcionamiento técnico de la instalación.
P	Fósforo
Pa	Pascal. Unidad de presión equivalente a un newton por metro cuadrado.
PAC	Carbón activo en polvo.
Pb	Plomo.
PCB	Bifenilos policlorados.
PCDD	Dibenzodioxinas policloradas.
PCDF	Dibenzofuranos policlorados.
PDMS	Polidimetilsiloxano.
pH	Se calcula tomando el logaritmo de la concentración de los iones de hidrógeno presentes en la solución: $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$.
PI	Integración en el proceso.

Término o abreviación	Significado
PLC	Control lógico programable.
Partículas	Materia particulada. Cualquier material sólido o líquido finalmente dividido y suspendido en el aire, excluida el agua no combinada.
PM _{0,01}	Materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 0,01 micrómetros nominales.
PM _{0,1}	Materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 0,1 micrómetros nominales.
PM _{0,12}	Materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 0,12 micrómetros nominales.
PM _{0,3}	Materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 0,3 micrómetros nominales.
PM ₁₀	Materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales.
PM _{2,5}	Materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales.
PM _{HAP}	Contaminantes atmosféricos peligrosos en forma de partículas.
PO ₄ -P	Contenido en fósforo en forma de fosfatos.
Contaminante	Sustancia individual o grupo de sustancias que pueden dañar o afectar negativamente al medio ambiente.
PPM o ppm	Partes por millón.
Medida/técnica primaria	Técnica que cambia de algún modo el funcionamiento del proceso central reduciendo así las emisiones o consumos brutos (<i>véase técnica de final de línea</i>).
PSA	Adsorción de presión de oscilación
PTFE	Politetrafluoretileno.
RCO	Oxidación catalítica regenerativa.
I+D	Investigación y desarrollo.
RO	Ósmosis inversa (proceso de membrana).
rpm	Revoluciones por minuto.
RTD	Investigación y desarrollo tecnológico.
RTO	Oxidante térmico regenerativo.
Sal	Compuesto iónico hecho de un catión y un anión distinto de hidróxido.
Sb	Antimonio.
RCS	Reducción catalítica selectiva.
OASC	Oxidación en agua supercrítica
Medida/técnica secundaria	Véase <i>técnica de final de línea</i> .

Término o abreviación	Significado
Escoria	Producto de fundición que contiene substancias (en la mayoría de los casos silicatos) no previstas para producción como mata o metal y que tiene un peso específico menor que el metal. La escoria de los altos hornos para hierro consiste básicamente de silicato de calcio, magnesio y aluminio; la escoria de los hornos de fundición de plomo y cobre contienen hierro.
SIC	Especialidades químicas inorgánicas.
PYME	Pequeñas y medianas empresas.
Sn	Estaño.
SNCR	Reducción no catalítica selectiva.
SnO	Monóxido de estaño.
SO ₂	Dióxido de azufre.
SO ₃	Anhídrido sulfúrico.
SO ₄ ⁻	Ion sulfato.
SO _x	Óxidos de azufre (mezcla de SO ₂ y SO ₃).
Emisión específica	Emisión relacionada con una base de referencia, como la capacidad de producción o la producción real (por ejemplo, masa por tonelada o por unidad producida).
SRI	Stanford Research Institute.
SS	Sólidos en suspensión (contenido) (en agua) (véase también SST).
t	Tonelada.
TA Luft	Regulaciones alemanas.
TEQ	Equivalentes tóxicos. Se utilizan para registrar las masas de mezclas de dioxinas /furanos ponderadas según toxicidad.
Ti	Titanio.
TiO ₂	Dióxido de titanio.
TNR	Trinitrorresorcinato.
COT	Carbono orgánico total.
ST	Sólidos totales (contenido). Contenido sólido antes de secar el material.
SST	Sólidos en suspensión totales (contenido) (en agua) (véase también SS).
GTT	Grupo de trabajo técnico.
UASB	Reactor o proceso anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente.
UBA	Umweltbundesamt (organismo alemán de medio ambiente).
UEB	Empresa Unión Explosivos-Ensign Bickford.
UF	Ultrafiltración (proceso de membrana).

Término o abreviación	Significado
UK	Reino Unido.
NU	Naciones Unidas.
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
EE.UU.	Estados Unidos.
UV	Ultravioleta.
V	Vanadio
V.I.	Índice de viscosidad.
COV	Compuestos orgánicos volátiles.
W	Tungsteno
WWTP	Planta de tratamiento de aguas residuales.
yr	Año.
Zn	Cinc.
ZnO	Óxido de cinc.

Anexos

Anexo 1. Cuestionario utilizado para recoger información medioambiental sobre las instalaciones de SIC

	COMISIÓN EUROPEA DIRECCIÓN GENERAL JRC CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN Instituto de Prospectiva Tecnológica (Sevilla) Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.													
<u>CUESTIONARIO DEL IPPC SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ESPECIALIDADES QUÍMICAS INORGÁNICAS (SIC)</u>														
FINALIDAD DEL CUESTIONARIO Esta información se enmarca en la implementación de la Directiva IPPC y la elaboración del documento europeo de referencia sobre las Mejores técnicas disponibles (MTD) para la producción de especialidades químicas inorgánicas (SIC).														
¿CÓMO SE UTILIZARÁ LA INFORMACIÓN FACILITADA? La información proporcionada sólo se utilizará para el BREF? SIC de forma que no permita la identificación de la empresa o emplazamiento de la que procede. Los datos facilitados sólo podrá verlos el personal del EIPPCB														
INDIQUE SI LOS DATOS SON CONFIDENCIALES La confidencialidad no deber la ser un problema, pues la mayoría de datos de consumo y emisiones del cuestionario se facilitan a las autoridades nacionales y constan en registros públicos														
¿QUÉ SUCEDE SI NO TENGO TODA LA INFORMACIÓN SOLICITADA? Le pedimos que nos proporcione la información que tiene a mano. La información parcial también nos resultará útil.														
¿QUÉ CELDAS DEBO RELLENAR? Las celdas que requieren información/datos están en azul. Añada aquí cualquier información que considere relevante.														
LA FIGURA SIGUIENTE MUESTRA CÓMO DEBE VERSE LA INSTALACIÓN PARA RELLENAR EL CUESTIONARIO CORRECTAMENTE														
<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 33%;">ENTRADAS</td><td style="width: 33%; text-align: center;">Especialidades químicas inorgánicas (SIC) Instalación evaluada</td><td style="width: 33%;">SALIDAS</td></tr></table>			ENTRADAS	Especialidades químicas inorgánicas (SIC) Instalación evaluada	SALIDAS									
ENTRADAS	Especialidades químicas inorgánicas (SIC) Instalación evaluada	SALIDAS												
Persona que rellena el formulario														
<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 15%;">Nombre:</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>Cargo:</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>e-mail:</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>Tel.:</td><td colspan="2"></td></tr></table>			Nombre:			Cargo:			e-mail:			Tel.:		
Nombre:														
Cargo:														
e-mail:														
Tel.:														
Esta información sólo se utilizará si se necesitan aclaraciones.														
PARA MÁS INFORMACIÓN, PÓNGASE EN CONTACTO CON:														
Serge Roudier (EIPPCB), tel. 34+ 95 448 8308 e-mail: serge.roudier@cec.eu.int														
ENVÍE EL CUESTIONARIO COMPLETO A serge.roudier@cec.eu.int														

1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA INSTALACIÓN DE SIC

País en el que se encuentra la instalación	
Nombre de la empresa	
Nombre de la instalación (o ciudad en la que está)	
Fecha de puesta en marcha	
Año de referencia para los datos facilitados en este cuestionario	
Información adicional	

2. DATOS DE LA INSTALACIÓN SIC

Instalación:	-						
SERVICIOS							
Tipo de combustible usado	combustible fósil (gas, líquido, sólido), otros (específicos)						
Consumo de combustible	MJ/año						
Consumo de electricidad	MWh/año						
Consumo de energ. térmica	MWh/año						
Consumo de agua	m ³ /año						
Refrigeración	MJ/año						
MATERIAS PRIMAS							
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
OTROS (catalizadores, etc.)							
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						
	toneladas/año						

3. TÉCNICAS Y PROCESOS APLICADOS EN LA INSTALACIÓN SIC

Instalación:

ESPECIALIDADES QUÍMICAS FABRICADAS

Familia de sustancias SIC fabricadas	
	producción de pigmentos inorgánicos (excepto TiO ₂ y negro de carbón)
	producción de explosivos inorgánicos mediante procesos químicos
	producción de cianuros
	producción de compuestos del fósforo
	producción de siliconas
	producción de sales solubles de níquel

Sustancias SIC producidas

Subproductos generados	Resultado

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS				
		Mencione la lista de procesos/actividades que se llevan a cabo en su instalación (almacenamiento ya incluido parcialmente). Para poder comprender mejor el proceso, añada un diagrama de flujo de la instalación en la siguiente hoja de cálculo.		
	Procesos/actividades que se llevan a cabo	Breve descripción / notas	Salida (emisiones al aire, al agua, residuos, ruido, mal olor)	Entrada (materia prima, energía, agua)
1	Almacenamiento de gas			
2	Almacenamiento de líquido			
3	Almacenamiento de sólidos (incl. residuos)			
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE AIRE USADOS			
Indique qué sistemas de limpieza de gases de chimenea se utilizan en su instalación.			

	Tipo de sistema de reducción empleado	Eficacia* %	Base de eficacia*	Comentarios
A1	Precipitador electrostático en seco		MP	
A2	Precipitador electrostático en húmedo		MP	
A3	Ciclón		MP	
A4	Enfriamiento			
A5	Filtro de mangas		MP	
A6	Filtro de manga con inyección de carbono activo		MP	
A7	Lavado de gases húmedo (ácido)			
A8	Lavado de gases húmedo (alcalino)			
A22	Lavado con agua			
A9	Sistema de lavado adicional			
A10	Lavado en húmedo con inyección de cal			
A11	Reducción catalítica no selectiva		NO _x	
A12	Reducción catalítica selectiva para NO _x		NO _x	
A13	Reducción catalítica selectiva para NO _x y dioxinas			
A14	Filtro de carbono activo (estable)			
A15	Incineración de COV		COV	
A16	Biofiltro			
A17				
A18				
A19				
A20				
A21				

* si la técnica reduce más de un contaminante, indique la eficacia de la reducción y la base de la eficacia para cada contaminante

¿Implementará alguna otra técnica de reducción en los próximos dos años?

NO En caso afirmativo, especifique cuál.

--	--

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL				
Indique los tratamientos del agua residual que se efectúan en su instalación, independientemente de la depuradora				
	Sistemas de reducción utilizados	Eficacia %	Base de eficacia	Comentarios
WI1				
WI2				
WI3				
WI4				
WI5				
WI6				
WI7				
WI8				

DEPURADORA DE AGUA RESIDUAL			
1) ¿Su instalación genera agua residual?			
En caso afirmativo, responda la pregunta 2)			
2) ¿El agua residual generada en su instalación se trata en una depuradora?			
En caso afirmativo, responda la pregunta 3)			
3) ¿La depuradora trata sólo el agua residual de su instalación			
Eficacia global	%	En COT	
	%		

	Posibles tratamientos en la depuradora	Aplicado	Comentarios
W1	Sedimentación		
W2	Neutralización		
W3	Tratamiento químico con...		
W4	Separación de emulsiones		
W5	Filtración		
W6	Desecación		
W7	Prensa de filtro		
W8	Intercambio de iones		
W9	Floculación		
W10			
W11			
W12			
W13			
W14			
W15			

Instalación -				
De forma ideal, el diagrama de flujo debería mostrar las diferentes etapas del proceso, el flujo de materias primas y productos acabados y las principales emisiones.				

4. PRODUCTOS RESULTANTES DE LA INSTALACIÓN DE SIC

Instalación: -					
PRODUCTOS SIC					
Productos con un precio de mercado positivo					
Cantidad anual de productos fabricados (ton./año)					
Electricidad (MWh/año)					
Calor (MWh/año)					

Notas: C=Continuo, D=Discontinuo, MI= Medición Indirecta, E= Estimado

Si una emisión no es aplicable para el proceso, indique ND en la tabla. Si sabe que pueden haber emisiones pero no conoce los valores, deje la celda en blanco.

EMISIONES A LA ATMÓSFERA	Tipos de mediciones					
	Parámetro	(C, D, MI, E)	Concentración	Unidades	Carga	Unidade
Período de tiempo medio						
CO ₂						kg/año
Polvo			mg/Nm ³			kg/año
NH ₃			mg/Nm ³			kg/año
NO _x			mg/Nm ³			kg/año
N ₂ O			mg/Nm ³			kg/año
COV (Compuestos orgánicos volátiles)			mg/Nm ³			kg/año
SO _x			mg/Nm ³			kg/año
CFC			mg/Nm ³			kg/año
Clorobencenos			mg/Nm ³			kg/año
CH ₄			mg/Nm ³			kg/año
CO			mg/Nm ³			kg/año
HCN			mg/Nm ³			kg/año
HCl			mg/Nm ³			kg/año
HF			mg/Nm ³			kg/año
H ₂ S			mg/Nm ³			kg/año
Total de metales			mg/Nm ³			kg/año
As			mg/Nm ³			kg/año
Hg			mg/Nm ³			kg/año
Cd			mg/Nm ³			kg/año
PAH			mg/Nm ³			kg/año
PCB			mg/Nm ³			kg/año
PCDD/PCDF			(ngTEQ/Nm ³)			g/año
Mal olor						
Ruido						

Nota: N significa condiciones normales (0 °C y 1 atm). Indique datos para condiciones en seco.

VERTIDOS AL AGUA	Tipos de medición		Unidades	Carga	Unidades
	Parameter	(C, D, MI, E)	Concentración		
Período de tiempo medio					
Agua residual generada					m ³ /año
SS (sólidos suspendidos (secado a 105 °C))			mg/l		kg/año
COT (carbono orgánico total)			mg/l		kg/año
DOB ₅ (demanda biológica de oxígeno en 5 días)			mg/l		kg/año
DQO (demanda química de oxígeno en 2 horas)			mg/l		kg/año
AOX (orgánicos halogenados adsorbibles)			mg/l		kg/año
Total de metales			mg/l		kg/año
Al			mg/l		kg/año
As, total			mg/l		kg/año
B, total			mg/l		kg/año
Cd, total			mg/l		kg/año
Cloruros			mg/l		kg/año
CN (libre)			mg/l		kg/año
Cr, total			mg/l		g/año
Cr (VI)			mg/l		kg/año
Cu, total			mg/l		kg/año
F, total			mg/l		kg/año
Fe			mg/l		kg/año
Hg			mg/l		kg/año
Hidrocarburos			mg/l		kg/año
Mn, total			mg/l		kg/año
Total de nitrógeno (como N)			mg/l		kg/año
Nitrito N (NO ₂ - N)			mg/l		kg/año
Ni, total			mg/l		kg/año
Nitratos			mg/l		kg/año
P, total			mg/l		kg/año
Pb, total			mg/l		kg/año
Fenoles			mg/l		kg/año
Sn			mg/l		kg/año
Sulfatos			mg/l		kg/año
Zn, total			mg/l		kg/año
RESIDUOS GENERADOS					
Residuos generados en el proceso					
Cantidad anual de residuos (ton./año)					
Composición de los residuos y origen en el proceso					
Desenlace final					

5. BUENAS PRÁCTICAS MEDIOAMBIENTALES	
Instalación	-
La información de esta hoja se refiere a aquellas técnicas (ya implementadas o de próxima implementación en su instalación) que usted considera Buenas Prácticas Medioambientales (BPM). Para cada técnica, indique:	
Información	
Descripción	
Ventajas medioambientales	
Efectos cruzados	
Datos operativos	
Aplicabilidad	
Economía	
Impulsor para la implementación	
Plantas de ejemplo	
Literatura de referencia	
Información	
Descripción	
Ventajas medioambientales	
Efectos cruzados	
Datos operativos	
Aplicabilidad	
Economía	
Impulsor para la implementación	
Plantas de ejemplo	
Literatura de referencia	
Copie el formato anterior para facilitar información sobre todas las técnicas aplicadas en su instalación que considere BPM	

