

Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea  
**Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico**

Documento BREF



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y MARINO



Comisión Europea

Serie Prevención y Control integrados de la Contaminación (IPPC)

Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea  
**Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases  
Residuales en el Sector Químico**

Documento BREF



Comisión Europea

**2009**

Versión: Febrero 2003

Traducción al español realizada por el  
Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

**Secretaría General Técnica:** Alicia Camacho García. **Subdirector General de Información al ciudadano, Documentación y Publicaciones:** José Abellán Gómez. **Director del Centro de Publicaciones:** Juan Carlos Palacios López. **Jefa del Servicio de Producción y Edición:** M.<sup>a</sup> Dolores López Hernández.

**Edita:**

© Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino  
Secretaría General Técnica  
Centro de Publicaciones

**Distribución y venta**

Paseo de la Infanta Isabel, 1  
Teléfono : 91 347 55 51 – 91 347 55 41  
Fax: 91 347 57 22

Plaza San Juan de la Cruz, s/n.  
Teléfono: 91 597 60 81  
Fax: 91 597 66 01

Tienda virtual: [www.marm.es](http://www.marm.es)  
e-mail: [centropublicaciones@mrm.es](mailto:centropublicaciones@mrm.es)

**Impresión:** Solana e hijos, A.G., S. A.

NIPO: 770-09-289-7  
ISBN: 978-84-491-0990-4  
Depósito Legal: M-53744 - 2009  
Catálogo General de publicaciones oficiales:  
<http://www.060.es> (servicios en línea/oficina virtual/Publicaciones)

**Datos técnicos:** Formato 21×29,7 cm. Caja de texto: 17,5×25 cm. Composición: cuerpos: 10,5 – 12,5 y 9,5. Tipografía: Century Schoolbook, Myriad Pro. Encuadernación: Rústica. Papel: Interior en couché reciclado 100% de 115 g. Cubierta en cartulina gráfica de 300 g. Tintas a 4/4.

Impreso en papel reciclado al 100% totalmente libre de cloro.

# Nota Introdutoria

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 MTDs 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 en Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gestión Residuales en el Sector Químico comenzó sus trabajos en el año 1999 y el documento final fue aprobado por la Comisión en Febrero de 2003: "*Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in Chemical Sector*" 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 Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 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.



# Resumen Ejecutivo

## Introducción

El BREF (documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles) sobre tratamiento y gestión de aguas y gases residuales refleja un intercambio de información realizado conforme al Artículo 16(2) de la Directiva del Consejo 96/61/CE. Este Resumen Ejecutivo –que debe leerse en conjunción con las explicaciones de objetivos, uso y condiciones legales incluidas en el Prefacio del BREF– describe los principales hallazgos, las principales conclusiones sobre MTD y los niveles de emisiones asociados. Puede leerse y entenderse como un documento separado aunque, al tratarse de un resumen, no presenta todas las complejidades del texto completo del BREF como instrumento para la toma de decisiones sobre MTD.

La manipulación de aguas y gases residuales ha sido identificada como un aspecto horizontal para el sector químico conforme a lo descrito en el Anexo I, 4 de la Directiva. Significa que el término "Mejores Técnicas Disponibles (MTD)" se estudia en este documento para todo el sector químico, independientemente de los procesos de producción particulares y del tipo y tamaño de las empresas químicas involucradas. También significa que el término MTD debe incluir, aparte de las tecnologías de tratamiento, una estrategia de gestión para conseguir un óptimo nivel de prevención o control de residuos.

Así, el ámbito del documento comprende:

- La aplicación de sistemas e instrumentos de gestión medioambiental.
- La aplicación de la tecnología de tratamiento para aguas y gases residuales de uso común o aplicable en el sector químico, incluida la tecnología de tratamiento de lodos de aguas residuales, mientras su operación tenga lugar en el complejo químico industrial.
- La determinación o conclusión sobre mejores técnicas disponibles en base a los dos puntos anteriores, lo que conduce a una estrategia de óptima reducción de la contaminación y, en condiciones apropiadas, en niveles de emisiones asociados con las MTD en el punto de descarga al medio ambiente.

En este documento sólo se abordan las técnicas de aplicación común o aplicables en la industria química, dejando las técnicas específicas de proceso o las técnicas integradas en el proceso (es decir, las técnicas sin tratamiento) para los BREF de procesos verticales. Aunque se limita a la industria química, se reconoce que el documento podría también contener información valiosa para otros sectores (ej. el sector de refinerías).

## Aspectos generales (Capítulo 1)

Las descargas a la atmósfera y al agua son los principales impactos medioambientales causados por emisiones de las instalaciones químicas.

Las principales fuentes de **agua residual** en la industria química son:

- Síntesis químicas
- Sistemas de tratamiento de gases residuales
- Acondicionamiento de agua de servicio
- Sangrados de sistemas de alimentación de agua de calderas
- Purga de circuitos de refrigeración
- Lavado a contracorriente de filtros e intercambiadores iónicos
- Lixiviados para desecho en vertedero
- Agua de lluvia de zonas contaminadas, etc.

Su principal impacto se caracteriza por su:

- Carga hidráulica.
- Contenido de sustancias contaminantes (expresado como carga o concentración).

- Efecto o potencial peligroso sobre el cuerpo acuático receptor, expresado como parámetro indirecto o suma de valores.
- Efecto sobre los organismos del cuerpo acuático receptor, expresado como datos de toxicidad.

Las emisiones de **gases residuales** aparecen en forma de:

- Emisiones conducidas, que son las únicas que pueden tratarse.
- Emisiones difusas.
- Emisiones fugitivas

Los principales contaminantes atmosféricos son:

- COV
- Compuestos de azufre (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>, COS)
- Compuestos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, HCN)
- Compuestos halogenados (Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, HF, HCl, HBr)
- Compuestos de combustión incompleta (CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>)
- Partículas.

## Sistemas e instrumentos de gestión (Capítulo 2)

La **gestión ambiental** es una estrategia para abordar las emisiones de residuos (o su prevención) de las actividades de la industria (química), teniendo en cuenta las condiciones locales, mejorando con ello el comportamiento integral de un complejo químico. Permite a las empresas:

- Mejorar la comprensión de los mecanismos de generación de contaminación de los procesos de producción.
- Tomar decisiones equilibradas acerca de medidas medioambientales.
- Evitar soluciones temporales e inversiones sin rendimiento.
- Actuar de forma adecuada y proactiva con respecto a los nuevos avances medioambientales.

Un **sistema de gestión ambiental** (Sección 2.1) sigue normalmente un proceso de ciclo continuo, con los distintos pasos apoyados por una serie de instrumentos de gestión e ingeniería (Sección 2.2), que pueden clasificarse ampliamente como sigue:

- **Instrumentos de inventario** que proporcionan, como punto de partida, información detallada y transparente para las decisiones necesarias sobre prevención, minimización y control de residuos: Entre ellos se incluyen:
  - Inventario del complejo, que proporciona información detallada sobre el complejo, los procesos de producción y las plantas correspondientes, el sistema de alcantarillado existente, etc.
  - Inventario de corrientes (aguas residuales y gases residuales), que da información detallada sobre las corrientes residuales (cantidad, contenido de contaminantes, variabilidad, etc.), sus fuentes, cuantificación, evaluación y validación de las causas de emisiones, y que finaliza en un ranking de las distintas corrientes para identificar opciones, y un listado de prioridades para mejoras futuras. La Evaluación Global de Efluentes y la evaluación de la reducción de consumo de agua y de las descargas de aguas residuales son también partes del inventario de corrientes.
  - Análisis de flujo de materia y de energía, que intenta mejorar la eficiencia operativa de los procesos (por lo que respecta a consumo de energía, materias primas, emisión de residuos).
- **Instrumentos operativos** para convertir las decisiones de gestión en acciones. Incluyen:
  - Monitorización y mantenimiento regular.
  - Establecimiento y revisión regular de objetivos o programas internos para una mejora ambiental continua.
  - Elección de opciones de tratamiento y sistemas de recogida, en base, por ejemplo, a los instrumentos de inventario y su aplicación.
  - Métodos de control de calidad, utilizados para "solución de problemas" cuando un proceso de tratamiento existente se descontrola o no puede alcanzar los requisitos fijados. Entre estos métodos se incluyen, por ejemplo, diagramas de causa-efecto, análisis de Pareto, diagramas de flujo o controles estadísticos de procesos.

- **Instrumentos estratégicos**, que incluyen la organización y operación de la manipulación de residuos en todo el complejo químico de forma integrada, evaluando las opciones ambientales y económicas. Entre ellos se incluyen:
  - Evaluación de riesgos como metodología común para calcular el riesgo humano y ecológico derivado de las actividades de los procesos de producción.
  - Establecimiento de referencias como proceso de comparación de los logros de una planta o complejo con los de otros.
  - Evaluación del ciclo de vida como proceso de comparación de los posibles efectos medioambientales de distintos modos de operación.
- **Instrumentos de seguridad y de emergencia**, necesarios en caso de episodios imprevistos como accidentes, incendios o vertidos.

### Técnicas de tratamiento (Capítulo 3)

Las técnicas identificadas por el Grupo de Trabajo Técnico (TWG) y descritas en este documento son comunes en el sector químico en su conjunto. Se presentan en un orden lógico, que sigue el recorrido de los contaminantes.

Las técnicas descritas de tratamiento de AGUAS RESIDUALES son:

- **Técnicas de separación o clarificación**, que se utilizan principalmente en combinación con otras operaciones, bien como primer paso (para proteger otras instalaciones de tratamiento contra daños, obstrucciones o ensuciamiento por sólidos) o un paso de clarificación final (para eliminar los sólidos o el aceite formado durante una operación de tratamiento anterior):
  - Separación de arena
  - Sedimentación
  - Flotación por aire
  - Filtración
  - Microfiltración / ultrafiltración
  - Separación de aceite-agua
- **Técnicas de tratamiento fisicoquímico** para aguas residuales no biodegradables, utilizadas principalmente para contaminantes inorgánicos u orgánicos poco biodegradables (o inhibitorios), a menudo como tratamiento previo corriente arriba de una planta biológica (central) de tratamiento de aguas residuales:
  - Precipitación / sedimentación / filtración
  - Cristalización
  - Oxidación química
  - Oxidación con aire húmedo
  - Oxidación con agua supercrítica
  - Reducción química
  - Hidrólisis
  - Nanofiltración / ósmosis inversa
  - Adsorción
  - Intercambio iónico
  - Extracción
  - Destilación / rectificación
  - Evaporación
  - Desorción
  - Incineración
- **Técnicas de tratamiento biológico** para aguas residuales biodegradables:
  - Procesos de digestión anaerobia, como proceso de contacto anaerobio, proceso UASB, proceso de lecho fijo, proceso de lecho expandido, eliminación biológica de compuestos de azufre y metales pesados.
  - Procesos de digestión aerobia, como proceso de lodo activado con mezcla completa, proceso de biorreactor de membrana, proceso de filtro de goteo, proceso de lecho expandido, proceso de lecho fijo con biofiltro.
  - Nitrificación / desnitrificación.
  - Tratamiento biológico central de aguas residuales.

Las técnicas de tratamiento de LODOS DE AGUAS RESIDUALES pueden considerarse como opciones simples o como una combinación de opciones. La siguiente lista no pretende en absoluto indicar un ranking. No obstante, la disponibilidad (o no disponibilidad) de una vía de desecho puede ser una fuerte motivación, al menos a nivel local, en la elección de una técnica apropiada de control de aguas residuales. Las técnicas descritas de tratamiento de lodos de aguas residuales son:

- Operaciones preliminares
- Operaciones de espesamiento de lodos
- Estabilización de lodos
- Acondicionamiento de lodos
- Técnicas de deshidratación de lodos
- Operaciones de secado
- Oxidación térmica de lodos
- Desecho de lodos en vertedero in situ.

Las técnicas descritas de tratamiento de GASES RESIDUALES no pueden clasificarse simplemente como técnicas de recuperación o eliminación. Si se recuperan contaminantes depende de la aplicación de etapas de separación adicionales. Algunas de las técnicas pueden usarse como operaciones finales individuales, otras sólo como pretratamiento o como paso de limpieza final. La mayoría de técnicas de control de gases residuales requiere tratamiento adicional corriente abajo del agua residual o del gas residual generado durante el proceso de tratamiento. Las técnicas son:

- **Para COV y compuestos inorgánicos:**
  - Separación por membranas
  - Condensación
  - Adsorción
  - Lavado húmedo
  - Biofiltración
  - Biolavado
  - Goteo biológico
  - Oxidación térmica
  - Oxidación catalítica
  - Combustión en antorcha
- **Para partículas:**
  - Separador
  - Ciclón
  - Precipitador electrostático
  - Lavador de polvo húmedo
  - Filtro de mangas
  - Filtración catalítica
  - Filtro de polvo de dos etapas
  - Filtro absoluto (filtro EPA)
  - Filtro de aire de alta eficacia (HEAF)
  - Filtro de neblina
- **Para contaminantes gaseosos en gases de escape de combustión:**
  - Inyección de adsorbente seco
  - Inyección de adsorbente semiseco
  - Inyección de adsorbente húmedo
  - Reducción no catalítica selectiva (RNCS) de NO<sub>x</sub>
  - Reducción catalítica selectiva (RCS) de NO<sub>x</sub>.

### Conclusiones sobre mejores técnicas disponibles (Capítulo 4)

La industria química cubre una amplia gama de empresas: en un extremo, las empresas con un solo proceso y pocos productos, con una o pocas fuentes de emisión de residuos y, en el otro, las empresas que producen gran cantidad de productos, con muchas y complejas corrientes residuales. Aunque probablemente no hay dos complejos químicos que sean totalmente comparables en cuanto a gama y mezcla de productos, situa-

ción medioambiental y cantidad y calidad de sus emisiones de residuos, es posible describir las MTD para el tratamiento de aguas y gases residuales para el sector químico en su conjunto.

La aplicación de MTD en plantas nuevas no suele representar un problema. En la mayoría de casos tiene sentido económico planear los procesos de producción y sus emisiones de residuos para minimizar las emisiones y el consumo de materias. Sin embargo, en los complejos existentes, la aplicación de las MTD no es generalmente tarea fácil, debido a la infraestructura existente y las circunstancias locales. No obstante, este documento no hace distinción entre MTD para instalaciones nuevas y existentes. Tal distinción no ayudaría a mejorar la situación medioambiental de los complejos industriales cara a la adopción de las MTD y no reflejaría el compromiso de la industria química con la mejora continua de las condiciones medioambientales.

## Gestión

Como indica la descripción detallada de la gestión ambiental en el Capítulo 2, el prerrequisito de un buen comportamiento ambiental es un Sistema de Gestión Ambiental (SGA). En el análisis final, la ejecución apropiada y consistente de un SGA reconocido producirá un comportamiento ambiental óptimo de un complejo químico, consiguiendo la MTD.

Partiendo de esta premisa, es MTD aplicar y seguir un SGA que podría incluir:

- Puesta en práctica de una jerarquía transparente de responsabilidad del personal, en la que los encargados informen directamente al máximo nivel de dirección.
- Preparación y publicación de un informe anual de comportamiento ambiental.
- Establecimiento de objetivos ambientales internos (específicos para un complejo o para la empresa), con revisión regular y publicación en un informe anual.
- Realización de auditorías regulares para asegurar el cumplimiento de los principios del SGA.
- Monitorización regular del comportamiento y de los progresos hacia la consecución de la política del SGA.
- Práctica de evaluación de riesgos de forma continua para identificar posibles peligros.
- Establecimiento de valores de referencia de forma continua y optimización de los procesos (producción y tratamiento de residuos) en cuanto a su consumo de agua y energía, generación de residuos y efectos sobre otros medios.
- Aplicación de un programa de formación adecuado para el personal e instrucciones para los contratistas que trabajen en el complejo en relación con los aspectos de Salud, Seguridad y Medio Ambiente (SSMA) y emergencias.
- Aplicación de prácticas de buen gobierno.

Es también MTD aplicar un sistema de gestión de aguas / gases residuales (o de evaluación de aguas / gases residuales), como subsistema del SGA, mediante una combinación apropiada de:

- Inventario del complejo y de corrientes.
- Comprobación e identificación de las fuentes de emisiones más relevantes para cada medio y listado de las mismas de acuerdo con su carga contaminante.
- Comprobación de los medios receptores (atmósfera y agua) y su tolerancia a las emisiones, utilizando los resultados para determinar el grado en el que se precisan requisitos de tratamiento más fuertes, o en el que las emisiones son inaceptables.
- Realización de evaluaciones de toxicidad, persistencia y potencial de bioacumulación de las aguas residuales a descargar en un cuerpo acuático receptor, compartiendo los resultados con las autoridades competentes.
- Comprobación e identificación de los procesos con un consumo de agua relevante, listándolos conforme a su consumo de agua.
- Fomento de opciones de mejora, centradas en las corrientes con mayores concentraciones y cargas, potencial de riesgo e impacto sobre el cuerpo receptor.<sup>1</sup>
- Evaluación de las opciones más eficaces, comparando sus eficacias globales de eliminación, el balance global de sus efectos sobre otros medios, su viabilidad técnica, organizativa y económica, etc.

---

<sup>1</sup> Un Estado Miembro desea una definición más precisa de "corrientes con mayores concentraciones", que incluya valores de cargas y/o concentraciones. Se reporta una discrepancia. Para más información, ver Capítulo 4.

También es MTD:

- Evaluar el impacto sobre el medio ambiente y los efectos sobre las instalaciones de tratamiento a la hora de planificar nuevas actividades o modificaciones en las ya existentes.
- Practicar la reducción de emisiones en origen.
- Relacionar los datos de producción con los datos de cargas de emisión para comparar las emisiones reales con las calculadas.
- Tratar las corrientes residuales contaminadas en origen, preferiblemente a su dispersión y tratamiento posterior en una instalación central, a menos que haya buenos motivos que lo desaconsejen.
- Utilizar métodos de control de calidad para evaluar el tratamiento y/o los procesos de producción, así como para evitar que se descontrolen.
- Aplicar buenas prácticas de fabricación en la limpieza del equipo, con el fin de reducir las emisiones al agua y a la atmósfera.
- Disponer de instalaciones / procedimientos que permitan una pronta detección de cualquier desviación que pueda afectar a las instalaciones de tratamiento corriente abajo, con el fin de evitar perturbaciones en las mismas.
- Instalar un sistema central de alerta eficiente que advierta de los fallos y averías a todos los afectados.
- Aplicar un programa de monitorización en todas las instalaciones de tratamiento de residuos, a fin de comprobar que funcionen correctamente.
- Aplicar estrategias para la gestión del agua contra incendios y de los vertidos.
- Aplicar un plan de respuesta a incidentes de contaminación.
- Asignar los costes del tratamiento de aguas y gases residuales a la producción.

Las medidas integradas en el proceso no entran en el ámbito del presente documento, pero son medios importantes para optimizar el comportamiento ambiental de los procesos de producción. Así, es MTD:

- Utilizar medidas integradas en el proceso con preferencia sobre las técnicas de postproducción (final de línea), si hay posibilidad de elección.
- Evaluar las instalaciones de producción existentes para ver las opciones de incorporación de medidas integradas en el proceso, y aplicarlas cuando sean viables, o al menos cuando la instalación sea sometida a una reforma importante.

### Aguas residuales

Un SISTEMA DE RECOGIDA DE AGUAS RESIDUALES adecuado juega un papel esencial en la reducción y/o tratamiento eficaz de las aguas residuales. Conduce las corrientes de aguas residuales a su dispositivo de tratamiento apropiado y evita la mezcla de aguas residuales contaminadas y no contaminadas. Así, es MTD:

- Separar el agua de proceso del agua de lluvia sin contaminar y otras emisiones de agua sin contaminar. Si los complejos existentes no utilizan todavía la separación de agua, puede instalarse –al menos parcialmente– cuando se realicen modificaciones importantes en el complejo.
- Separar las aguas de proceso según su carga contaminante.
- Instalar tejados sobre zonas de posible contaminación cuando sea viable.
- Instalar desagües separados para zonas con riesgo de contaminación, incluido un sumidero para recoger las pérdidas de fugas o vertidos.
- Usar alcantarillas no subterráneas para el agua de proceso dentro del complejo industrial, entre los puntos de generación de aguas residuales y los dispositivos de tratamiento final. Si las condiciones climáticas no permiten alcantarillas por encima de la superficie (por temperaturas claramente inferiores a 0 °C), los sistemas con conductos subterráneos accesibles con un sustituto adecuado. Muchos complejos químicos industriales disponen todavía de alcantarillas subterráneas, y la construcción inmediata de nuevos sistemas de alcantarillado no es normalmente viable, pero pueden realizarse obras en periodos en los que estén previstas modificaciones importantes en las plantas de producción o el sistema de alcantarillado.
- Instalar capacidad de retención para casos de posibles fallos y para el agua contra incendios, de acuerdo con la evaluación de riesgos.

EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES en el sector químico sigue al menos cuatro estrategias distintas:

- Tratamiento final central en una EDAR biológica in situ.
- Tratamiento final central en una EDAR municipal.
- Tratamiento final central del agua residual inorgánica en una EDAR quimiomecánica.
- Tratamientos descentralizados.

Ninguna de estas cuatro opciones es preferida a las otras, mientras se garantice el nivel de emisión equivalente para la protección del medio ambiente en su conjunto, y siempre que esto no produzca niveles más elevados de contaminación en el entorno [Artículo 2(6) de la Directiva].

En esta etapa se supone que se han realizado las decisiones apropiadas de gestión de efluentes, se ha evaluado el impacto sobre el agua receptora, se han explotado todas las opciones prácticas para la prevención y reducción de residuos, y se han tomado en cuenta todas las medidas de seguridad, es decir, a partir de ahora sólo se considerarán soluciones de postproducción (final de línea).

Para **agua de lluvia**, es MTD:

- Conducir el agua de lluvia sin contaminar directamente al agua receptora, sin pasar por el sistema de alcantarillado de aguas residuales.
- Tratar el agua de lluvia de las zonas contaminadas antes de su descarga al agua receptora.

En algunos casos, el uso de agua de lluvia como agua de proceso para reducir el consumo de agua fresca puede ser beneficioso desde el punto de vista ambiental.

Son instalaciones de tratamiento apropiadas:

- Desarenador
- Balsa de retención
- Tanque de sedimentación
- Filtro de arena.

Es MTD eliminar el **aceite y/o hidrocarburos** cuando aparecen como grandes manchas o cuando son incompatibles con otros sistemas, con objeto de maximizar su recuperación, aplicando una combinación apropiada de:

- Separación de aceite / agua mediante ciclón, microfiltración o separador API (American Petroleum Institute), cuando pueden esperarse grandes manchas de aceite o hidrocarburos libres, de lo contrario los separadores de placas paralelas y de placas corrugadas son alternativas.
- Microfiltración, filtración con medios granulares o flotación por gas.
- Tratamiento biológico.

Niveles de emisiones asociados con las MTD	
Parámetro	Concentración <sup>a</sup> [mg/l]
contenido total de hidrocarburos <sup>b</sup>	0.05-1.5
DBO <sub>5</sub>	2-20
DQO	30-125
<sup>a</sup> Media mensual	
<sup>b</sup> Existe un desacuerdo en los métodos analíticos para evaluar hidrocarburos que no pudo resolverse dentro del GTT.	

Es MTD romper y/o eliminar las **emulsiones** en origen.

Para **sólidos en suspensión** (totales SST) (los totales SST que incluyen compuestos de metales pesados o lodo activado requieren otras medidas), es MTD eliminarlos de las corrientes de aguas residuales en caso de que puedan causar daños o fallos en las instalaciones corriente abajo, o antes de su descarga en el agua receptora. Las técnicas comunes son:

- Sedimentación / flotación por aire para capturar la mayor parte de la carga de totales SST.
- Filtración mecánica para reducción ulterior de sólidos.

- Microfiltración o ultrafiltración cuando se requiera un agua residual exenta de sólidos.

Son preferibles las técnicas que permiten la recuperación de sustancias.

Es también MTD:

- Controlar el olor y el ruido cubriendo o cerrando el equipo y conduciendo el aire de escape a un tratamiento adicional de gas residual si es necesario.
- Desechar el lodo, mediante su entrega a un contratista autorizado o mediante su tratamiento in situ (ver sección sobre tratamiento de lodos).

Dado que los **metales pesados** son elementos químicos que no pueden destruirse, su recuperación y reutilización son las únicas formas de evitar su emisión al medio ambiente. Cualquier otra opción causa su transferencia entre los distintos medios: agua residual, aire residual y vertedero.

Así, para metales pesados, es MTD hacer **todo** lo siguiente:

- Separar las aguas residuales que contengan metales pesados en la medida de lo posible, y
- Tratar las corrientes de aguas residuales separadas en origen antes de su mezcla con otras corrientes, y
- Utilizar técnicas que permitan una recuperación lo más amplia posible, y
- Facilitar la eliminación ulterior de metales pesados en una EDAR final como paso de limpieza, con tratamiento subsiguiente de lodos, si es necesario.

Las técnicas apropiadas son:

- Precipitación / sedimentación (o flotación por aire en su lugar) / filtración (o microfiltración o ultrafiltración en su lugar).
- Cristalización.
- Intercambio iónico.
- Nanofiltración (u ósmosis inversa en su lugar).

Dado que los niveles de emisiones que puede alcanzarse mediante estas técnicas de control dependen fuertemente del proceso que origina la emisión de metales pesados, el TWG se sintió incapaz de determinar niveles de emisiones asociados con las MTD que fueran válidos para el sector químico en su conjunto. Se recomendó que este asunto se tratara en los BREF de los procesos correspondientes.

El **contenido de sales inorgánicas (y/o ácidos)** del agua residual puede influir tanto sobre la biosfera de un agua receptora, como en el caso de ríos pequeños que afrontan elevadas cargas de sales, como sobre el funcionamiento de sistemas de alcantarillado, por ejemplo corrosión de tuberías, válvulas y bombas, o perturbación del tratamiento biológico corriente abajo. En caso de que se dé una o ambas de estas posibilidades, es MTD controlar el contenido de sales inorgánicas, preferiblemente en origen y preferiblemente con técnicas de control que permitan la recuperación. Son técnicas de tratamiento apropiadas (sin incluir técnicas para el tratamiento de sales de amonio o metales pesados):

- Evaporación
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa
- Eliminación biológica de sulfatos (se utiliza sólo para sulfatos, pero cuando hay presentes metales pesados, también se eliminan).

Los **contaminantes inadecuados para tratamiento biológico** son, por ejemplo, COT recalcitrantes y/o sustancias tóxicas que inhiben el proceso biológico. Por ello, debe evitarse su descarga en una planta de tratamiento biológico. No es posible predecir qué contaminantes son inhibidores de los procesos biológicos en una EDAR, ya que ello depende de la adaptación a los contaminantes especiales de los microorganismos de esa planta particular. Por consiguiente, el MTD evitar la introducción de componentes de aguas residuales en sistemas de tratamiento biológico que puedan causar perturbaciones en tales sistemas, y tratar las

corrientes de aguas residuales tributarias con una parte no biodegradable relevante mediante técnicas adecuadas.<sup>2</sup>

- Opción 1: Técnicas que permiten la recuperación de sustancias:
  - Nanofiltración u ósmosis inversa
  - Adsorción
  - Extracción
  - Destilación / Rectificación
  - Evaporación
  - Desorción
- Opción 2: Técnicas de eliminación sin necesidad de combustible adicional, cuando la recuperación no es viable:
  - Oxidación química, aunque hay que tener cuidado con los agentes que contienen cloro
  - Reducción química
  - Hidrólisis química
- Opción 3: Técnicas de eliminación que comportan un considerable consumo de energía, cuando no hay otra elección que eliminar toxicidad o efectos inhibitorios, o cuando el proceso puede operar de forma autosostenible:
  - Oxidación con aire húmedo (variante de baja o alta presión)
  - Incineración del agua residual
- En casos en los que el suministro y el consumo de agua sea un problema ambiental, hay que evaluar las técnicas que requieran cantidades considerables de agua de refrigeración o sistemas de lavado húmedo para el tratamiento del aire de escape, como:
  - Extracción
  - Destilación / Rectificación
  - Evaporación
  - Desorción.

El **agua residual biodegradable** puede tratarse en sistemas de control biológico, bien como corrientes tributarias en sistemas de (pre)tratamiento especialmente diseñados, como sistemas anaerobios o aerobios de alta carga, o como agua residual mixta en una planta de tratamiento biológico de aguas residuales, o como paso de limpieza después de la planta central de tratamiento de aguas residuales. Así, es MTD eliminar las sustancias biodegradables utilizando un sistema apropiado de tratamiento biológico (o una combinación apropiada de ellos), como:

- Pretratamiento biológico para evitar que la planta de tratamiento biológico de aguas residuales reciba una alta carga biodegradable (o como paso de limpieza final). Son técnicas apropiadas:
  - Proceso de contacto anaerobio
  - Proceso de manto de lodo anaerobio con flujo ascendente
  - Proceso de lecho fijo anaerobio y aerobio
  - Proceso de lecho expandido anaerobio
  - Biorreactor de membrana
  - Filtro de goteo (percolación)
  - Proceso de lecho fijo con biofiltro
- Nitrificación / desnitrificación cuando un agua residual contiene una carga de nitrógeno relevante.
- Tratamiento biológico central, evitando la introducción de contaminantes del agua residual no biodegradables, cuando puedan causar perturbaciones del sistema de tratamiento y cuando la planta no sea adecuada para su tratamiento. En general, el nivel de emisión asociado con MTD para DBO tras el tratamiento biológico central es < 20 mg/l. En el caso de lodo activado, una aplicación típica es una etapa biológica de baja carga con una carga diaria de DQO de  $\leq 0,25$  kg/kg lodo.

<sup>2</sup> Un Estado Miembro insiste en una definición más precisa de "parte no biodegradable relevante". Se reporta una discrepancia. Más información en el Capítulo 4.

Niveles de emisiones asociados con las MTD para descarga final a un cuerpo acuático receptor <sup>3</sup> :		
Parámetro <sup>a</sup>	Indices de eficacia [%]	Niveles de emisión [mg/l] <sup>b</sup>
SST		10-20 <sup>c</sup>
DQO	76-96 <sup>d</sup>	30-250
N inorgánico total <sup>e</sup>		5-25
P total		0.5-1.5 <sup>f</sup>
AOX		

<sup>a</sup> para DBO, ver la sección precedente sobre tratamiento biológico central  
<sup>b</sup> media diaria, excepto TSS  
<sup>c</sup> media mensual  
<sup>d</sup> bajos índices de eficacia para bajas concentraciones de contaminantes  
<sup>e</sup> suma de NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N y NO<sub>3</sub>-N (un parámetro más recomendable sería N total. Debido a la falta de información sobre N total, aquí se utiliza N inorgánico total)  
<sup>f</sup> rango inferior de alimentación de nutrientes en PTAR biológica, rango superior de procesos de producción

### Lodos de Aguas Residuales

Cuando se manipulan lodos de aguas residuales en el complejo químico industrial, es MTD utilizar una o varias de las siguientes opciones (sin preferencia):

- Operaciones preliminares
- Operaciones de espesamiento de lodo
- Estabilización de lodo
- Acondicionamiento de lodo
- Técnicas de deshidratación de lodo
- Operaciones de secado
- Oxidación térmica de lodo
- Desecho de lodo en vertedero in situ.

El tratamiento externo no se toma en consideración, ya que no entra en el ámbito del documento. No se trata en absoluto de una conclusión contra el tratamiento externo mediante subcontratas.

### Gases Residuales

Los SISTEMAS DE RECOGIDA DE GASES RESIDUALES se instalan para dirigir las emisiones gaseosas a sistemas de tratamiento. Consisten en el cuerpo de la fuente de emisión, ventilaciones y tuberías. Es MTD:

- Minimizar el caudal de gas a la unidad de control aislando las fuentes de emisión todo cuanto sea factible.
- Prevenir el riesgo de explosión mediante:
  - La instalación de un detector de inflamabilidad dentro del sistema de recogida cuando el riesgo de que se produzca una mezcla inflamable sea significativo.
  - El mantenimiento de la mezcla de gas de forma segura por debajo del límite inferior de explosión.
- Instalar equipo apropiado para prevenir la ignición de mezclas inflamables de gas-oxígeno o minimizar sus efectos.

En este documento, las fuentes de gases residuales se distinguen como:

- Fuentes de baja temperatura, como procesos de producción, manipulación de productos químicos, preparación de productos.
- Fuentes de alta temperatura, como procesos de combustión, que incluyen instalaciones como calderas, plantas de energía, incineradores de proceso y oxidadores catalíticos y térmicos.

<sup>3</sup> Un Estado Miembro insiste en incluir asimismo niveles de emisión asociados para AOX y metales pesados en el punto de descarga final. Se reporta una discrepancia. Más información sobre el estado de la discusión en el Capítulo 4.

## Fuentes de baja temperatura

Los contaminantes a controlar en los gases residuales emitidos de fuentes de baja temperatura (gases de procesos de producción) son polvo (partículas), COV y compuestos inorgánicos (HCl, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> etc.).

Es MTD eliminar el **polvo / partículas** de las corrientes de gases residuales, bien como tratamiento final, bien como tratamiento previo para proteger instalaciones corriente abajo, aplicando recuperación de materias cuando sea factible. Hay que tener en cuenta el consumo de energía y agua de las técnicas de tratamiento. Son técnicas de control apropiadas:

- Técnicas de tratamiento previo con posible recuperación:
  - o Separador
  - o Ciclón
  - o Filtro de neblina (también filtro limpiador para aerosoles y gotas)
- Técnicas de tratamiento final:
  - o Lavador húmedo
  - o Precipitador electrostático
  - o Filtro de manga
  - o Varios filtros de alta eficacia, según el tipo de materia en forma de partículas.

Es MTD eliminar los **COV** de las corrientes de gases residuales. La técnica de control a aplicar depende fuertemente del proceso del que se emiten y del grado de peligro que representan.

- Opción 1: Técnicas para recuperar materias primas y/o disolventes, a menudo aplicadas como tratamiento previo para recuperar la carga principal de COV antes de instalaciones de eliminación corriente abajo, o para proteger instalaciones corriente abajo como medida de seguridad. Son técnicas apropiadas:
  - o Lavado húmedo
  - o Condensación
  - o Separación por membrana
  - o Adsorción

O combinaciones de las mismas:

  - o Condensación / Adsorción
  - o Separación por membrana / Condensación
- Opción 2: Técnicas de eliminación cuando la recuperación no es factible, dando preferencia a las técnicas con bajo consumo de energía.
- Opción 3: Técnicas de combustión (oxidación térmica o catalítica), cuando no haya disponibles otras técnicas igualmente eficaces.

Cuando se apliquen técnicas de combustión, es MTD aplicar tratamiento del gas de escape de combustión cuando se esperen cantidades considerables de contaminantes en el gas de escape.

Es también MTD utilizar combustión en antorcha para desechar de forma segura los excedentes de gases combustibles de, por ejemplo, operaciones de mantenimiento, sistemas de control de perturbaciones o ventilaciones remotas no conectadas a sistemas de eliminación.

Para **otros compuestos que no son COV**, es MTD eliminar estos contaminantes, aplicando la técnica apropiada:

- Lavado húmedo (agua, solución ácida o alcalina) para haluros de hidrógeno, Cl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>
- Lavado con disolvente no acuoso para CS<sub>2</sub>, COS
- Adsorción para CS<sub>2</sub>, COS, Hg
- Tratamiento biológico de gases para NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>
- Incineración para H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>, COS, HCN, CO
- RNCS o RCS para NO<sub>2</sub>.

Cuando sea factible, se prefieren las técnicas de recuperación a las técnicas de eliminación, como por ejemplo:

- Recuperación de cloruro de hidrógeno cuando se use agua como medio de lavado en la primera etapa de lavado, para producir una solución de ácido clorhídrico.
- Recuperación de NH<sub>3</sub>.

El TWG no ha conseguido llegar a una conclusión sobre niveles de emisiones asociados con las MTD para gases residuales de procesos de producción que sea aplicable a la industria química en su conjunto. Los niveles de emisiones asociados con las MTD para gases de proceso dependen fuertemente del proceso de producción particular, por lo que se recomendó tratar este tema en los BREF de los procesos apropiados.

### Fuentes de alta temperatura

Los contaminantes a controlar en los gases residuales de procesos a alta temperatura (gases de escape de combustión) son polvo (partículas), compuestos halogenados, monóxidos de carbono, óxidos de azufre, NO<sub>x</sub> y posiblemente dioxinas.

Es MTD eliminar el **polvo / partículas** aplicando una de las siguientes técnicas:

- Precipitador electrostático
- Filtro de mangas (después de intercambiador de calor a 120-150 °C)
- Filtro catalítico (condiciones comparables al filtro de mangas)
- Lavado húmedo.

Es MTD recuperar **HCl, HF y SO<sub>2</sub>** utilizando lavado húmedo en dos etapas, o eliminarlos mediante inyección de adsorbentes secos, semisecos o húmedos, aunque el lavado húmedo suele ser la técnica más eficaz tanto para eliminación como para recuperación.

Para **NO<sub>x</sub>**, es MTD aplicar RCS en lugar de RNCS (al menos para instalaciones grandes), ya que tiene una mejor eficacia de eliminación y comportamiento ambiental. Para instalaciones existentes que utilizan dispositivos de RNCS, el momento para considerar su cambio puede ser cuando haya previstas modificaciones importantes en la planta de incineración. Aunque la RCS es MTD en sentido general, hay casos individuales (normalmente instalaciones más pequeñas) en las que la RNCS es la mejor solución desde el punto de vista técnico y económico. Otras medidas deberán ser evaluadas por su capacidad de proporcionar una mejora global mayor que la modernización a RNCS.

Niveles de emisión asociados con las MTD del tratamiento de gases de escape de combustión	
Parámetro	Niveles de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ] <sup>1</sup>
polvo	<5-15
HCl	<10
HF	<1
SO <sub>2</sub>	<40-150 <sup>2</sup>
NO <sub>x</sub> (calderas / calentadores a gas)	20-150 <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub> (calderas / calentadores líquidas)	55-300 <sup>3</sup>
NH <sub>3</sub> <sup>4</sup>	<5 <sup>5</sup>
dioxinas	0,1 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ

<sup>1</sup> Media semihoraria, referido a un contenido de oxígeno del 3 %  
<sup>2</sup> Rango inferior para combustible gaseoso, rango superior para combustible líquido  
<sup>3</sup> Valor superior para instalaciones pequeñas que utilizan RNCS  
<sup>4</sup> Desprendimiento de NH<sub>3</sub> con RCS  
<sup>5</sup> Valor con catalizadores nuevos, las emisiones de NH<sub>3</sub> aumentan a medida que el catalizador envejece.

### Comentarios y conclusiones finales (Capítulo 6)

Un Estado Miembro expresó cuatro puntos de discrepancia tras la segunda reunión del TWG:

1. Expresó la opinión de que las definiciones de MTD para gestión de aguas y gases residuales son demasiado generales, haciendo referencia a ejemplos de corrientes con concentraciones y cargas más elevadas (según se indica en la Sección 2.2.2.3.1).
2. Expresó la opinión de que el criterio de "parte no biodegradable relevante" debe definirse de forma más precisa dando un conjunto de valores indicativos para COT recalcitrantes en corrientes de aguas residuales.
3. Insistió en definir los niveles de emisiones asociados con MTD para metales pesados en base a los ejemplos dados en el Anexo 7.6.4. En su opinión, al seguir la estrategias de prevención, tratamiento previo y tratamiento central descrita anteriormente (ver sección sobre metales pesados), es posible definir valores de emisiones asociados con MTD para metales pesados que son válidos para muchos complejos químicos. También afirman que los valores están influenciados por la parte de las producciones relevante a los metales pesados, y que por lo tanto dependen de la mezcla de productos, lo que puede causar valores más elevados en casos especiales, especialmente en la producción de productos de química fina. Con respecto a las emisiones al alcantarillado público, debería tenerse en cuenta el efecto de la EDAR de modo que se asegurara que los metales pesados no son transferidos a otros medios.

El TWG no secundó esta solicitud, afirmando que no sería útil definir niveles de emisión asociados con las MTD que estuvieran influenciados por combinaciones particulares de corrientes de aguas residuales en complejos de producción particulares, produciendo valores que podrían o no ser válidos en casos reales. Por consiguiente, se registra una discrepancia.

4. Insiste en definir niveles de emisiones asociados con MTD para AOX en base a los ejemplos datos en el Anexo 7.6.2. Se afirma que pueden darse niveles de emisión asociados con las MTD, aunque los valores de emisiones de AOX están fuertemente influenciados por la proporción y tipo de síntesis organocloradas en un complejo químico, cuando el tratamiento de aguas residuales funciona según las conclusiones sobre MTD indicadas anteriormente (ver sección sobre contaminantes inadecuados para tratamiento biológico).

El TWG no secundó esta solicitud. Los ejemplos presentados (ver Anexo 7.6.2) fueron interpretados como consistentes en distintos conjuntos de datos estadísticos que no permitían definir niveles de emisión asociados con las MTD. Incluso se indicó que uno de los niveles de emisión de AOX más bajos reportados como ejemplos representaba un mal comportamiento, mientras que el nivel de emisión más elevado del conjunto de datos provenía de un complejo con muy buen comportamiento. En estas condiciones, el TWG consideró inadecuado dar niveles de emisión asociados con MTD para AOX. Por consiguiente, se registra una discrepancia.

El intercambio de información en sí mismo ha sido bastante menos que completo. Es difícil entender por qué ha sido así, dados los pasados esfuerzos y logros de la industria química en la gestión de las emisiones de aguas y gases residuales. Igualmente difícil resultó el intercambio de información con una serie de Estados Miembros.

En cuanto a la revisión del BREF, la recomendación es cubrir las lagunas existentes. La revisión debería esperar hasta que estén finalizados todos los BREF verticales del sector químico. Sin embargo, para que una revisión de este tipo tenga sentido, será necesario concentrarse más en la información que es útil para quienes conceden los permisos. Puede encontrarse información adicional en el Capítulo 6.

La CE lanza y apoya, a través de sus programas RTD, una serie de proyectos sobre tecnologías limpias, técnicas emergentes de tratamiento de efluentes y reciclaje, y estrategias de gestión. Potencialmente estos proyectos podrían proporcionar una contribución útil a futuras revisiones del BREF. Por consiguiente, se invita a los lectores a que informen al EIPPCB de los resultados de investigaciones que puedan ser relevantes al ámbito de este documento (ver asimismo el prefacio de este documento).



# Prefacio

## 1. Estatus del presente documento

Salvo que se indique lo contrario, las referencias a “la Directiva” en el presente documento deberán entenderse como referencias a la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). En la medida en que la Directiva se aplica sin perjuicio a las disposiciones comunitarias sobre higiene y seguridad en el trabajo, también lo hace este documento.

Este documento forma la parte de una serie que presenta los resultados de un intercambio de información entre los Estados Miembros de la UE y los sectores afectados sobre Mejores Técnicas Disponibles (MTD), monitorización asociada, y su evolución. Es publicado por la Comisión Europea conforme al Artículo 16(2) de la Directiva, y debe ser por lo tanto considerado de acuerdo con el Anexo IV de la Directiva a la hora de determinar las “mejores técnicas disponibles”.

## 2. Principales obligaciones legales de la Directiva de IPPC y definición de MTD

A fin de ayudar al lector a comprender el contexto legal en el que se ha redactado el presente documento, se describen en este prefacio las disposiciones más importantes de la Directiva de IPPC, incluida la definición del término “mejores técnicas disponibles” (MTD). Se trata de una descripción inevitablemente incompleta, de carácter exclusivamente informativo. No tiene valor legal y no modifica ni menoscaba en modo alguno las disposiciones de la Directiva.

La Directiva tiene por objeto la prevención y el control integrados de la contaminación a través de las actividades relacionadas en su Anexo I, encaminadas a lograr un alto grado de protección del medio ambiente en su conjunto. Aunque el ámbito legal de la Directiva es exclusivamente la protección medioambiental, en su aplicación también deben tenerse en cuenta otros objetivos comunitarios, como garantizar la existencia de las condiciones necesarias para la competitividad de la industria comunitaria, contribuyendo con ello al desarrollo sostenible.

Más concretamente, en ella se establece un sistema de permisos para ciertas categorías de instalaciones industriales que exige que tanto sus titulares como las autoridades reguladoras realicen un análisis integrado y global del potencial de contaminación y consumo de la instalación. El objetivo global de un enfoque integrado de este tipo debe ser mejorar la gestión y el control de los procesos industriales, a fin de conseguir un alto grado de protección para el medio ambiente en su conjunto. Para ello es fundamental el principio general establecido en el artículo 3, por el que los titulares deben tomar todas las medidas adecuadas de prevención de la contaminación, en particular mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que les permitan mejorar su comportamiento con respecto al medio ambiente.

En el apartado 11 del artículo 2 de la Directiva se define el término “mejores técnicas disponibles” 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 artículo 2(11) incluye a continuación la siguiente aclaración adicional de la citada definición:

“mejores”: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

“técnicas”: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación se diseña, construye, mantiene, explota y paraliza;

“disponibles”: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables.

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 de conformidad con el Artículo 16(2).

Las autoridades competentes responsables de la concesión de permisos deben tener en cuenta los principios generales establecidos en el artículo 3 a la hora de determinar las condiciones del permiso. Estas condiciones deben incluir los valores límite de emisión, en su caso complementados o sustituidos por parámetros o medidas técnicas equivalentes. De acuerdo con el Artículo 9(4) de la Directiva, estos valores límite de emisión, parámetros y medidas técnicas equivalentes deben basarse - sin perjuicio del cumplimiento de las normas de calidad medioambiental - en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, sino 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 deberán incluir disposiciones relativas a la reducción de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizar un alto nivel de protección para el medio ambiente en su conjunto.

Los Estados Miembros tienen la obligación, de acuerdo con el artículo 11 de la Directiva, de velar por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las mejores técnicas disponibles.

### 3. Objetivo del presente documento

El apartado 2 del artículo 16 de la Directiva obliga a la Comisión a organizar “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” y a publicar los resultados de tal intercambio.

La finalidad del intercambio de información se establece en el considerando 25 de la Directiva, que estipula que “los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles contribuirán a reducir los desequilibrios tecnológicos en el ámbito 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 objetivo de esta serie de documentos es reflejar con precisión el intercambio de información que ha tenido lugar con arreglo a 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 establecer las condiciones de concesión de los permisos. La importante información que estos documentos contienen con respecto a las mejores técnicas disponibles les convierte en instrumentos de gran valor para guiar el comportamiento en materia de medio ambiente.

### 4. Fuentes de información

En este documento se resume la información obtenida de diversas fuentes, que incluye en especial 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 efusivamente todas las aportaciones realizadas.

### 5. Cómo entender y utilizar este documento

La información que contiene el presente documento tiene por objeto servir de punto de partida para el proceso de determinación de las MTD en casos específicos. A la hora de determinar las MTD y establecer con-

diciones para permisos basadas en las MTD, deberá tenerse siempre en cuenta el objetivo global de lograr el máximo grado posible de protección para el medio ambiente en su conjunto.

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

El Capítulo 1 proporciona una descripción general de aguas residuales y gases residuales, incluyendo información general sobre sistemas de gestión y tratamiento.

El Capítulo 2 describe la gestión medioambiental y de efluentes, y los instrumentos apropiados para su aplicación.

El Capítulo 3 proporciona una descripción de las técnicas de tratamiento para aguas y gases residuales que son comunes en el sector químico. Las técnicas incluyen proceso de recuperación y de eliminación. Los Capítulos 2 y 3 constituyen el núcleo de este Documento de Referencia y proporcionan la información necesaria para llegar a las conclusiones sobre MTD del Capítulo 4.

El Capítulo 4 presenta las técnicas y los niveles de emisión asociados que se consideran compatibles con las MTD en un sentido general. A la hora de encontrar las técnicas de tratamiento más convenientes para situaciones específicas, el término "técnicas" en el contexto de este documento horizontal hace referencia a más que la mera tecnología; también incluye estrategias de gestión. El objetivo es proporcionar así indicaciones generales en cuanto a niveles de emisiones y consumos que puedan considerarse como un punto de referencia apropiado para ayudar en la determinación de condiciones de permisos basadas en las MTD, o para el establecimiento de reglas obligatorias generales bajo el Artículo 9(8). Hay que destacar, sin embargo, que este documento no propone valores límite de emisión. La determinación de condiciones de permiso apropiadas implicará tener en cuenta factores locales, específicos de cada complejo, como las características técnicas de la instalación en cuestión, su posición geográfica y las condiciones ambientales locales. En el caso de instalaciones existentes, también hay que considerar la viabilidad económica y técnica de su modernización. Incluso el mero objetivo de asegurar un nivel alto de protección para el medio ambiente en conjunto a menudo implicará tomar decisiones de compromiso entre distintos tipos de impacto ambiental, y estas decisiones a menudo estarán influenciadas por consideraciones locales.

Aunque se ha intentado abordar algunas de estas cuestiones, no es posible su plena consideración en este documento. Por lo tanto, las técnicas y los niveles presentados en el Capítulo 4 no necesariamente serán apropiados para todas las instalaciones. Por otra parte, la obligación de garantizar un alto grado de protección medioambiental, incluida la máxima reducción de la contaminación transfronteriza o de larga distancia, implica que no es posible establecer las condiciones de concesión de los permisos con arreglo a consideraciones puramente locales. Por ello, es esencial que las autoridades competentes en materia de permisos tengan muy en cuenta la información que contiene el presente documento.

Como las mejores técnicas disponibles cambian con el tiempo, este documento está sujeto a revisión y actualización. Todo comentario o sugerencia debe enviarse a la Oficina Europea de IPPC (EIPPCB), emplazada en el Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos, cuyas señas se indican a continuación:

Edificio Expo, C/ Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, España  
Teléfono: +34 95 4488 284  
Fax: +34 95 4488 426  
e-mail: [epiccb@jrc.es](mailto:epiccb@jrc.es)  
Internet: <http://eippcb.jrc.es>



# Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en Sistemas Comunes de Tratamiento / Gestión de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	I
<b>PREFACIO</b> .....	XV
<b>AMBITO</b> .....	XXV
<b>1. DESCRIPCION GENERAL</b> .....	1
1.1. Aguas y gases residuales en la industria química .....	1
1.1.1. Aguas residuales .....	1
1.1.2. Gases residuales .....	3
1.2. Gestión ambiental relativa a aguas y gases residuales.....	3
1.3. Tecnología de Tratamiento.....	5
1.3.1. Medidas integradas en el proceso .....	6
1.3.2. Técnicas de postproducción (final de línea) .....	7
1.3.2.1. Tratamiento de aguas residuales .....	7
1.3.2.2. Tratamiento de gases residuales.....	10
1.4. Impacto ambiental del tratamiento de aguas y gases residuales y sus interdependencias .....	12
<b>2. GESTION DE AGUAS / GASES RESIDUALES</b> .....	15
2.1. Sistema de Gestión Ambiental (SGA) .....	15
2.2. Instrumentos de gestión.....	18
2.2.1. Instrumentos de gestión de inventario .....	19
2.2.1.1. Inventario del complejo .....	19
2.2.1.2. Inventario o registro de corrientes .....	19
2.2.1.2.1. Evaluación global de Efluentes (WEA) .....	20
2.2.1.2.2. Reducción del consumo de agua y de la descarga de aguas residuales .....	24
2.2.1.2.3. Cuantificación de las emisiones de gases .....	25
2.2.1.3. Análisis de flujo de energía y materia (EMFA) .....	27
2.2.2. Instrumentos de gestión operativa .....	28
2.2.2.1. Monitorización .....	28
2.2.2.2. Establecimiento y revisión regular de objetivos o programas internos.....	28
2.2.2.3. Elección de opciones de tratamiento.....	30
2.2.2.3.1. Selección del sistema de control de aguas residuales .....	31
2.2.2.3.2. Selección del Sistema de Control de Gases Residuales.....	34
2.2.2.4. Elección de sistema de recogida.....	36
2.2.2.4.1. Selección del sistema de recogida y separación de aguas residuales.....	37
2.2.2.4.2. Elección de sistemas de recogida de gases.....	37
2.2.2.5. Puesta en práctica de las opciones de control de emisiones seleccionadas .....	38
2.2.2.6. Métodos de control de calidad.....	38
2.2.3. Instrumentos de gestión estratégica.....	41
2.2.3.1. Evaluación de riesgos .....	41
2.2.3.2. Establecimiento de referencias .....	42
2.2.3.3. Análisis del ciclo de vida (ACV) .....	42
2.2.4. Instrumentos de seguridad y emergencia.....	43
2.2.4.1. Gestión del agua contra incendios y de los vertidos importantes .....	43
2.2.4.2. Planificación de la respuesta a incidentes de contaminación .....	45
<b>3. TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO APLICADA</b> .....	47
3.1. Información presentada en este capítulo .....	47
3.2. Información sobre costes en este documento horizontal.....	48

3.2.1.	Costes totales de instalación frente a costes de equipos suministrados.....	48
3.2.2.	Costes de polígono verde frente a costes de modernización .....	49
3.2.3.	Costes de inversión frente a costes operativos.....	50
3.2.4.	Costes iniciales de control de emisiones frente a costes de control incrementados.....	51
3.3.	Técnicas de tratamiento de aguas residuales.....	51
3.3.1.	Medidas integradas en el proceso.....	51
3.3.1.1.	Extracción a contracorriente como ejemplo de procesos de ahorro de agua ....	51
3.3.1.2.	Operaciones de reutilización y recirculación .....	51
3.3.1.3.	Refrigeración indirecta con fases vapor .....	52
3.3.1.4.	Procesos sin agua residual para generación de vacío.....	52
3.3.1.5.	Procesos sin agua residual para limpieza del gas de escape .....	53
3.3.1.6.	Recuperación o retención de sustancias de licores madre o mediante procesos optimizados .....	53
3.3.1.7.	Uso de materias primas y compuestos auxiliares poco contaminados.....	54
3.3.2.	Estabilización de caudales .....	54
3.3.3.	Capacidad de almacenaje o retención para episodios de fallos.....	55
3.3.4.	Técnicas de postproducción (final de línea) .....	57
3.3.4.1.	Contaminantes insolubles / Separación mecánica .....	59
3.3.4.1.1.	Desarenado .....	59
3.3.4.1.2.	Sedimentación de sólidos .....	61
3.3.4.1.3.	Flotación por aire.....	65
3.3.4.1.4.	Filtración.....	70
3.3.4.1.5.	Microfiltración y Ultrafiltración .....	74
3.3.4.1.6.	Separación Aceite – Agua.....	77
3.3.4.2.	Contaminantes solubles no biodegradables o inhibitorios / Tratamiento físico-químico .....	80
3.3.4.2.1.	Precipitación .....	81
3.3.4.2.2.	Cristalización.....	84
3.3.4.2.3.	Oxidación química .....	87
3.3.4.2.4.	Oxidación por aire húmedo .....	91
3.3.4.2.5.	Oxidación en agua supercrítica (SCWO) .....	95
3.3.4.2.6.	Reducción química.....	98
3.3.4.2.7.	Hidrólisis química .....	100
3.3.4.2.8.	Nanofiltración (NF) y Osmosis Inversa (RO) .....	102
3.3.4.2.9.	Adsorción.....	107
3.3.4.2.10.	Intercambio iónico .....	113
3.3.4.2.11.	Extracción .....	116
3.3.4.2.12.	Destilación / Rectificación .....	118
3.3.4.2.13.	Evaporación .....	120
3.3.4.2.14.	Desorción (Stripping) .....	122
3.3.4.2.15.	Incineración de aguas residuales.....	126
3.3.4.3.	Contaminantes biodegradables solubles / Tratamiento biológico .....	128
3.3.4.3.1.	Tratamiento anaerobio.....	129
3.3.4.3.2.	Eliminación biológica de compuestos de azufre / metales pesados	133
3.3.4.3.3.	Tratamiento aerobio .....	136
3.3.4.3.4.	Eliminación biológica de nitrógeno.....	143
3.3.4.3.5.	Tratamiento biológico central de aguas residuales .....	148
3.3.4.4.	Control del agua de lluvia y contra incendios .....	151
3.3.4.4.1.	Estanques de retención .....	152
3.3.4.4.2.	Filtros de arena .....	153
3.4.	Técnicas de tratamiento de lodos .....	155
3.4.1.	Espesamiento y deshidratación de lodo .....	156
3.4.2.	Estabilización y acondicionamiento .....	161
3.4.3.	Reducción térmica de lodo.....	163
3.5.	Técnicas de tratamiento final de línea de gases residuales.....	167
3.5.1.	Técnicas de recuperación para COV y compuestos inorgánicos.....	169
3.5.1.1.	Separación con membrana.....	169
3.5.1.2.	Condensación.....	172
3.5.1.3.	Adsorción .....	180
3.5.1.4.	Lavadores húmedos para la eliminación de gases .....	185
3.5.2.	Operaciones y procesos de eliminación para COV y compuestos inorgánicos.....	194

3.5.2.1.	Biofiltración .....	194
3.5.2.2.	Lavado biológico.....	198
3.5.2.3.	Goteo biológico .....	202
3.5.2.4.	Oxidación térmica.....	205
3.5.2.5.	Oxidación catalítica .....	211
3.5.2.6.	Combustión en antorcha .....	216
3.5.3.	Técnicas de recuperación y eliminación para partículas .....	223
3.5.3.1.	Separador.....	223
3.5.3.2.	Ciclón.....	224
3.5.3.3.	Precipitador electrostático (PE) .....	228
3.5.3.4.	Lavador de polvo húmedo .....	232
3.5.3.5.	Filtro de mangas.....	237
3.5.3.6.	Filtración catalítica .....	242
3.5.3.7.	Filtro de polvo de dos etapas.....	244
3.5.3.8.	Filtro absoluto (Filtro HEPA) .....	247
3.5.3.9.	Filtro de aire de alta eficacia (HEAF) (High Efficiency Air Filter) .....	249
3.5.3.10.	Filtro de neblina .....	250
3.5.4.	Técnicas de recuperación y eliminación para contaminantes gaseosos en gases de escape .....	253
3.5.4.1.	Inyección de absorbentes como técnicas FGD.....	253
3.5.4.2.	Reducción selectiva de NOx (RNCS y RCS) .....	259
4.	<b>MEJORES TECNICAS DISPONIBLES PARA EL TRATAMIENTO / GESTION DE AGUAS / GASES RESIDUALES EN EL SECTOR QUIMICO</b> .....	263
4.1.	Introducción.....	263
4.2	MTD generales.....	265
4.3	MTD específicas. ....	267
4.3.1.	Sección de aguas residuales .....	267
4.3.2.	Sección de gases residuales .....	285
5.	<b>TECNICAS EMERGENTES</b> .....	293
6.	<b>CONCLUSIONES FINALES</b> .....	295
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	299
7.	<b>ANEXOS</b> .....	307
7.1.	Anexo I. Operación conjunta de EDAR industrial y municipal.....	307
7.2.	Anexo II. Ejemplo de EMFA: Tecnología de Pinch.....	308
7.3.	Anexo III. Monitorización de una EDAR biológica central.....	311
7.4.	Anexo IV. Normas de monitorización .....	312
7.5.	Anexo V. Plan de respuesta a incidentes de contaminación.....	317
7.6.	Anexo VI. Ejemplos de tratamiento de aguas y gases residuales .....	318
7.6.1.	Información técnica sobre plantas de tratamiento de aguas residuales (ejemplos) .....	318
7.6.2.	Información sobre descargas de agua residual (ejemplos) .....	324
7.6.3.	Información sobre sistemas de tratamiento completo de aguas residuales in situ.....	328
7.6.4.	Ejemplos de descargas de metales pesados.....	331
7.6.5.	Ejemplo de plantas de tratamiento de gases residuales .....	332
7.7.	Anexo VII. Legislación de los Estados Miembros sobre aguas y gases residuales en el sector Químico.....	334
	<b>GLOSARIO DE TERMINOS Y ABREVIATURAS</b> .....	415

Lista de figuras

Figura 1.1: Técnicas de manejo de aguas residuales.....	6
Figura 1.2: Técnicas de manejo de gases residuales.....	6
Figura 2.1: El círculo del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) .....	16
Figura 2.2: Estrategia de un SGA orientado a un complejo.....	17
Figura 2.3: Complejidad de un SGA orientado a un complejo .....	18
Figura 2.4: Procedimiento general para reducir el consumo de agua y la generación de aguas residuales .....	25
Figura 2.5: Diagrama de decisión para un sistema apropiado de control de aguas residuales .....	32
Figura 2.6: Diagrama de causa – efecto de efluente de mala calidad.....	40
Figura 3.1: Regulador intermedio autocontenido con llenado alternante .....	55
Figura 3.2: Regulador intermedio conectado, inundado discontinuamente .....	56
Figura 3.3: Regulador intermedio conectado, inundado continuamente.....	56
Figura 3.4: Sistema de regulador intermedio de fugas .....	57
Figura 3.5: Gama de técnicas de tratamiento de aguas residuales en relación al tipo de contaminantes .....	58
Figura 3.6: Desarenador de flujo horizontal en forma de canal.....	59
Figura 3.7: Desarenador circular.....	60
Figura 3.8: Desarenador aireado .....	60
Figura 3.9: Tanque de sedimentación .....	62
Figura 3.10: Tanque con fondo en tolva .....	62
Figura 3.11: Sedimentador de láminas o tubos.....	63
Figura 3.12: Sistema de DAF: .....	66
Figura 3.13: Comparación de la eficacia de separación de la DAF con la de la Sedimentación.....	67
Figura 3.14: Filtro de arena multimedio convencional con flujo descendente .....	71
Figura 3.15: Filtro de presión .....	71
Figura 3.16: Filtro de vacío rotatorio.....	72
Figura 3.17: Separador del American Petroleum Institute (Separador API).....	78
Figura 3.18: Separador de Placas Paralelas (PPI) .....	78
Figura 3.19: Separador de Placas Onduladas (CPI) .....	79
Figura 3.20: Principio del proceso de cristalización.....	84
Figura 3.21: Aplicación múltiple de la cristalización en una producción química.....	85
Figura 3.22: Esquema de una instalación Loprox operada a 120 – 200 °C y 0,3 – 2,0 con un tiempo de retención < 3 h [cww/tm/132] .....	92
Figura 3.23: Esquema simplificado del proceso de SCWO .....	96
Figura 3.24: Configuración de ósmosis inversa (RO).....	104
Figura 3.25: Operación de dos columnas de adsorción conectadas en serie.....	108
Figura 3.26: Desorción de amoniaco con aire y vapor .....	123
Figura 3.27: Balances de carbono en la degradación microbiológica aerobia (A) y anaerobia (B) de compuestos orgánicos .....	129
Figura 3.28: Proceso de contacto anaerobio .....	130
Figura 3.29: Representación esquemática del proceso UASB.....	130
Figura 3.30: Esquema de un proceso de tratamiento anaerobio de dos etapas .....	131
Figura 3.31: Diagrama de proceso de una planta de reducción biológica de metales y sulfatos.....	133
Figura 3.32: Ejemplo de tratamiento biológico en columna .....	137
Figura 3.33: Variantes del biorreactor de membrana, en comparación con el proceso de lodo activado convencional .....	138
Figura 3.34: Vista esquemática de un filtro de goteo .....	139
Figura 3.35: Proceso de biofiltro en comparación con el proceso de lodo activado convencional .....	139
Figura 3.36: Nitrificación / Desnitrificación en serie.....	146
Figura 3.37: Nitrificación / Desnitrificación con desnitrificación como primera etapa .....	146
Figura 3.38: Ejemplo de una EDAR central (tratamiento mecánico-biológico-químico) .....	149
Figura 3.39: Espesador de lodo centrífugo .....	156
Figura 3.40: Espesador mediante flotación por aire disuelto (DAF) para residuos de lodo activado .....	157
Figura 3.41: Filtro de prensa con cinta .....	157
Figura 3.42: Filtro de prensa de placas encastradas y volumen fijo.....	158
Figura 3.43: Incinerador de lecho fluidizado [cww/tm/4] .....	164
Figura 3.44: Oxidación en reactor profundo [cww/tm/4] .....	164
Figura 3.45: Rango de técnicas de tratamiento final de línea de gases residuales en relación al tipo de contaminantes.....	167
Figura 3.46: Típico módulo capilar de membrana .....	169
Figura 3.47: Esquema de una instalación común de separación por membrana.....	170

Figura 3.48: Aplicación de un proceso de separación con membrana como unidad de recuperación de vapores (URV) .....	170
Figura 3.49: Sistema de condensación en dos etapas.....	173
Figura 3.50: Sistema de recuperación por condensación criogénica integrado con una operación típica con capa de nitrógeno.....	174
Figura 3.51: Sistema de recuperación criogénica bajo atmósfera inerte .....	174
Figura 3.52: Sistema típico de condensación con gas inerte en ciclo cerrado .....	175
Figura 3.53: Proceso típico de adsorción de doble lecho.....	180
Figura 3.54: Adsorción en lecho fluidizado.....	181
Figura 3.55: Adsorción y desorción continua en lecho móvil .....	181
Figura 3.56: Lavador de lecho móvil.....	186
Figura 3.57: Lavador de lecho relleno.....	187
Figura 3.58: Lavador de columna de platos.....	187
Figura 3.59: Torre de rociado, (a) Contracorriente, (b) Cocorriente.....	188
Figura 3.60: Sistema típico de absorción / desorción .....	189
Figura 3.61: Estructura de un biofiltro.....	194
Figura 3.62: Típico proceso con biofiltro .....	195
Figura 3.63: Lavador biológico típico .....	198
Figura 3.64: Proceso típico de lavado biológico .....	198
Figura 3.65: Diagrama de flujo del proceso de goteo biológico .....	202
Figura 3.66: Instalación típica de goteo biológico.....	202
Figura 3.67: Esquemas de varios sistemas de combustión regenerativos .....	206
Figura 3.68: Principio de oxidación catalítica .....	211
Figura 3.69: Oxidador catalítico regenerativo.....	213
Figura 3.70: Sistema típico de antorcha elevada [cww/tm/143] .....	216
Figura 3.71: Principales componentes del quemador cerrado .....	217
Figura 3.72: Antorcha con inyector.....	218
Figura 3.73: Antorcha con pantalla .....	218
Figura 3.74: Antorcha con mufla.....	219
Figura 3.75: Ciclón de flujo inverso.....	225
Figura 3.76: Ciclón directo .....	225
Figura 3.77: PE de placa-alambre.....	228
Figura 3.78: PE de tubo-alambre .....	229
Figura 3.79: Diagrama esquemático de PE de una etapa y de dos etapas .....	229
Figura 3.80: Lavador de impacto y arrastre .....	233
Figura 3.81: Lavador venturi .....	234
Figura 3.82: Casa de mangas de filtros catalíticos, incluidos trenes de muestreo.....	242
Figura 3.83: Filtro de polvo de dos etapas.....	244
Figura 3.84: Filtro de tela metálica con proceso de reposición de torta.....	245
Figura 3.85: Inyección de absorbente seco para la eliminación de dióxido de azufre (posiciones de inyección) .....	254
Figura 3.86: Sistema FGD por rociado o semiseco .....	255
Figura 3.87: Sistema FGD húmedo. Lavador de lechada de cal. ....	255
Figura 4.1: Ordinograma para el tratamiento de aguas residuales en un complejo industrial químico: Base para conclusiones sobre MTD.....	269
Figura 7.1: Cooperación entre una EDAR industrial y municipal: Situación antes .....	309
Figura 7.2: Cooperación entre una EDAR industrial y municipal: Nueva situación .....	309
Figura 7.3: Tecnología de Pinch: análisis, curvas de fuentes y sumideros .....	310
Figura 7.4: Ejemplo de estrategia de conservación de agua antes y después del análisis de Pinch .....	311
Figura 7.5: Situación de producción en un centro de producción complejo (Ejemplo XXI) .....	329
Figura 7.6: Tratamiento central de aguas residuales para un complejo químico que produce fármacos y pesticidas .....	330

Lista de tablas

Tabla 1.1: Principales contaminantes de aguas residuales y sus respectivas técnicas de tratamiento .....	8
Tabla 1.2: Selección de técnicas para la reducción de <u>emisiones</u> de gases residuales en relación con el contaminante a eliminar .....	11
Tabla 1.3: Selección de técnicas para la reducción de emisiones de gases residuales en relación con el caudal de gas residual .....	12
Tabla 1.4: Impacto potencial de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales .....	13
Tabla 1.5: Impacto potencial de las instalaciones de tratamiento de gases residuales.....	14
Tabla 3.1: Ejemplo de costes de un proyecto real .....	49
Tabla 3.2: Eliminación de contaminantes de aguas residuales a través de la coagulación.....	61
Tabla 3.3: Características de la Microfiltración (MF) y Ultrafiltración (UF) .....	74
Tabla 3.4: Eliminación de DQO de diversas sustancias en función del uso de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [cww/tm/132] .....	89
Tabla 3.5: Características de la nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO) .....	103
Tabla 3.6: Adsorbente usados comúnmente y sus propiedades .....	107
Tabla 3.7: Características de eficacia típicas de la adsorción con GAC con concentraciones de alimentación de unos 1000 mg/l. ....	110
Tabla 3.8: Parámetros de proceso específicos normalmente asociados con el tratamiento biológico anaerobio, anóxico y aerobio. ....	128
Tabla 3.9: Concentración umbral de sustancias representativas tóxicas para el lodo activado .....	136
Tabla 3.10: Comparación de las cargas volumétricas tratadas mediante diversos procesos aeróbicos.....	140
Tabla 3.11: Inhibidores sustanciales de la nitrificación .....	144
Tabla 3.12: Dosis de cal típicas para estabilizar lodo líquido .....	162
Tabla 3.13: Niveles típicos de adición de polímeros para distintos tipos de lodo y diversos métodos de deshidratación .....	163
Tabla 3.14: Aplicaciones típicas del lavado biológico.....	199
Tabla 3.15: Tipos de quemadores.....	207
Tabla 3.16: Aplicación y límites y restricciones de aplicación de distintos lavadores de polvo húmedos...	234
Tabla 3.17: Índices de eficacia, consumibles y costes de las variantes de lavadores de polvo húmedos ....	236
Tabla 3.18: Tejidos usados comúnmente .....	237
Tabla 3.19: Índices de eficacia de absorción seca con cal como adsorbente a distintas temperaturas y sistemas de eliminación de polvo.....	257
Tabla 3.20: Índices de eliminación de SO <sub>x</sub> por absorción seca con cal a distintos rangos de temperatura y relaciones molares Ca/S .....	257
Tabla 3.21: Índices de eliminación de SO <sub>x</sub> por absorción seca con cal con distintas relaciones molares Ca/S.....	258
Tabla 3.22: Índices de eliminación para absorción seca y semisecca con carbonato sódico .....	258
Tabla 4.1: Técnicas de tratamiento de agua de lluvia descritas en el Capítulo 3.....	271
Tabla 4.2: Niveles de emisiones asociados con las MTD para aceite / hidrocarburos libres descargados a un agua receptora. ....	272
Tabla 4.3: Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para sólidos en suspensión .....	274
Tabla 4.4: Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para metales pesados .....	275
Tabla 4.5: Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para sales inorgánicas (sin incluir metales pesados) .....	276
Tabla 4.6: Técnicas de tratamiento asociadas con MTD para contaminantes inadecuados para tratamiento biológico.....	279
Tabla 4.7: Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para técnicas de tratamiento biológico .....	282
Tabla 4.8: Niveles de emisión asociados con MTD para descarga de aguas residuales a un cuerpo acuático receptor .....	283
Tabla 4.9: Técnicas de tratamiento asociadas con MTD para tratamiento de partículas con corrientes de gas residual normales.....	288
Tabla 4.10: Técnicas de tratamiento asociadas con COV para tratamiento de COV y compuestos inorgánicos para corrientes de gases residuales normales .....	290
Tabla 4.11: Niveles de emisión e índices de eficacia asociados con las MTD del tratamiento de gases de escape de combustión en el sector químico.....	292
Tabla 7.1: Monitorización de una EDAR.....	312
Tabla 7.2: Caudales de aguas residuales y detalles sobre tratamiento en un centro de producción química complejo (Ejemplo XXI) .....	329
Tabla 7.3: Niveles de emisión de metales pesados en el punto de descarga final.....	331

# Ámbito

Este Documento de Referencia (BREF) sobre MTD, titulado "Sistemas Comunes de Tratamiento / Gestión de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico", cubre todo el sector químico, y está previsto como apoyo y guía para las autoridades reguladoras a la hora de decidir sobre la concesión de un permiso relativo a emisiones acuosas y/o gaseosas de instalaciones químicas. Es uno de una serie de BREF relativos a la industria química, que están diseñados para ser leídos conjuntamente. Son:

- Fabricación de Cloro-Alcali
- Compuestos Orgánicos de Gran Volumen de Producción (LVOC)
- Compuestos Inorgánicos de Gran Volumen de Producción (LVIC)
- Polímeros
- Compuestos Orgánicos de Química fina (OFC)
- Compuestos Inorgánicos Especiales (SIC)

Y los BREF horizontales

- Sistemas de Refrigeración Industrial
- Emisiones del Almacenaje de Materias en Gran Volumen o Peligrosas
- Sistemas de Monitorización
- Aspectos Económicos y Efectos sobre Otros Medios.

La industria de las refinerías también considera este BREF como relevante para el sector de refinerías.

Dado que hay numerosas opciones para el tratamiento de aguas y/o gases residuales en la industria química, este documento debe limitarse a las técnicas que "comúnmente" se utilizan o son aplicables en el sector. Incluso con esta restricción, el BREF puede tratar sólo algunas de las técnicas empleadas. Eso significa que los métodos de tratamiento aplicados sólo en un complejo y/o diseñados sólo para un proceso de producción especial no son cubiertos por este documento. Entran en el ámbito de los correspondientes documentos verticales. Por otra parte, las técnicas de tratamiento que no han sido utilizadas en la industria química, pero que se utilizan con éxito en otros sectores, se cubren cuando se considera que pueden tener aplicación útil.

Las técnicas integradas en el proceso se tratan en este documento cuando pueden usarse en varios procesos, o cuando su aplicación es aceptada de forma general. Normalmente, los aspectos específicos de un complejo o proceso en relación con el tratamiento de aguas / gases residuales no se cubren aquí, sino que se abordan de forma general, explicando cómo tratar condiciones específicas.

Otro tema principal en este Documento de Referencia es la gestión de aguas y gases residuales como parte de la gestión operativa. Gestión significa la adaptación de condiciones locales (como datos concretos de producción, legislación, situación ambiental local, disponibilidad y calidad de materias primas y/o auxiliares y aspectos de clima) al funcionamiento económica y ecológicamente eficiente de un complejo industrial en su conjunto. La tarea de este documento es describir el enfoque o los enfoques a la toma de decisiones de gestión para minimizar el impacto ambiental total de las emisiones de aguas y gases residuales.

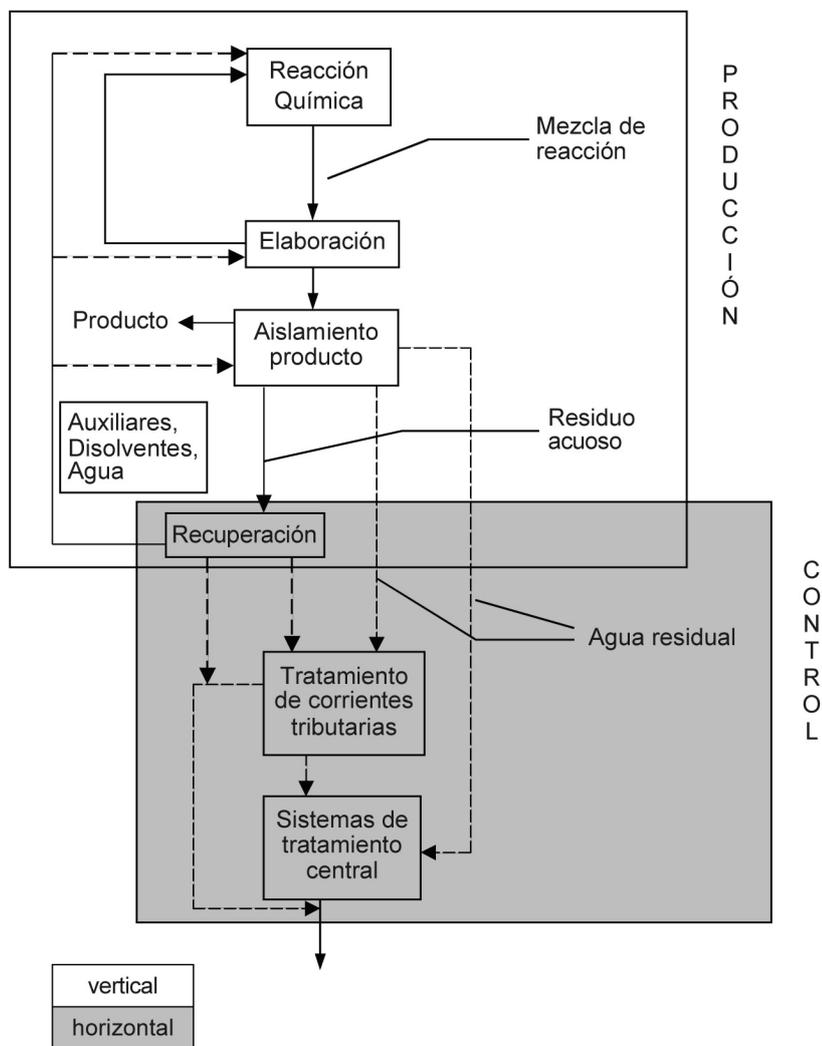
El término "impacto sobre el medio ambiente" utilizado en el BREF incluye, por ejemplo:

- Consumo de recursos, como agua de cuerpos acuosos naturales, energía, materias primas, sustancias químicas, etc.; esto es de mayor importancia cuando los recursos son limitados, por ejemplo el agua en condiciones climáticas desfavorables o energías no renovables.
- Emisiones al agua y/o a la atmósfera, incluyendo ruido y olor.
- Generación de residuos.
- Emisiones derivadas de episodios como arranques y paradas.

La organización del desecho de lodos o residuos sólidos del tratamiento de aguas y gases residuales es parte de la decisión del operador de un complejo químico. Dado que hay complejos que están equipados con instalaciones de tratamiento apropiadas para lodos de aguas residuales, su tratamiento se aborda en este documento. El tratamiento de residuos aparte del lodo de aguas residuales cae dentro del ámbito de otros docu-

mentos verticales para otros sectores del Anexo 1 de la Directiva. Este BREF, sin embargo, no anticipará el BREF sobre incineración de residuos, que todavía debe escribirse.

Para evitar en lo posible la duplicación de trabajo y la superposición de tópicos con los BREF verticales y horizontales relevantes, es necesario trazar límites. Por ejemplo, el límite entre los BREF verticales del sector químico y este documento horizontal se explica en la parte de aguas residuales mediante la Figura I, con una situación comparable para la parte de gas residual.



**Figura I: Límite entre relevancia para producción y control, o entre BREF vertical y horizontal**

Así, el ámbito de este Documento de Referencia horizontal comprende:

- La presentación de la gestión ambiental en relación con aguas y gases residuales, y cómo aplicarla a un complejo del modo más ventajoso para el medio ambiente.
- La descripción de medidas integradas en el proceso generalmente aplicables (es decir aplicables con un objetivo idéntico en distintos procesos de producción).
- La descripción de técnicas de tratamiento aplicadas a las aguas y gases residuales en cuanto a su impacto sobre el medio ambiente, sus eficacias de tratamiento, sus limitaciones y ventajas, y sus costes.
- La descripción de técnicas de tratamiento para lodos de aguas residuales, en la medida en que se utilizan en complejos químicos.
- En base a la información arriba indicada, la descripción de esquemas con opciones para asegurar que las técnicas de tratamiento de aguas y gases residuales y/o combinaciones de las mismas contribuyan a la aplicación de las MTD a un complejo químico en su conjunto.

Los ejemplos ilustrativos con datos de eficacias alcanzables en apoyo de la conclusión de MTD no pretenden implicar que los valores indicados pueden alcanzarse con cada aplicación individual en todas las condiciones de trabajo, sino que las recomendaciones o propuestas efectuadas son generalmente válidas.

El documento particularmente válido para el sector químico. Sin embargo, el TWG reconoce que los elementos descritos – sistemas e instrumentos de gestión, técnicas de tratamiento de aguas y gases residuales – contienen también información valiosa para otros sectores. No obstante, la aplicación de esta información en otros sectores requiere una evaluación detenida en cada caso.



# Capítulo 1.

## Descripción General

Las leyes científicas generales, como las del equilibrio químico y/o físico, hacen inevitable que se produzcan residuos durante los procesos químicos (síntesis), por lo que los subproductos no deseados deben ser eliminados. El carácter y la escala de estas emisiones son altamente variables y dependen de la composición de las materias primas, productos, intermedios, productos auxiliares, condiciones de proceso, etc.

Los residuos que se producen durante estos procesos pueden dividirse en:

- Aguas residuales
- Gases residuales
- Residuos líquidos y sólidos.

Los residuos líquidos (no acuosos) y sólidos que se originan en la producción química y la manipulación de productos deben considerarse por separado – normalmente en BREF verticales – y no se tratan en este documento.

El Capítulo 1 ofrece un resumen de los aspectos generales de:

- Aguas y gases residuales
- Gestión medioambiental
- Tecnología de tratamiento
- Impacto medioambiental del tratamiento de aguas y gases residuales,

sin entrar en detalles específicos.

### 1.1. Aguas y gases residuales en la industria química

#### 1.1.1. Aguas residuales

Desde el punto de vista cualitativo, la mayoría de aguas residuales en la industria química no provienen por lo general directamente de pasos de reacción química. Aunque el agua residual puede provenir directamente de reacciones, por ejemplo como condensado o agua de reacción, las descargas acuosas de la preparación fisicoquímica subsiguiente de las mezclas de síntesis son generalmente mayores. Los productos y/o productos intermedios de cada síntesis o de cada etapa de síntesis son aislados y purificados por operaciones como filtración y centrifugación de soluciones de reacción acuosas, o mediante la preparación de mezclas de reacción, por ejemplo mediante extracción o destilación.

Las corrientes de aguas residuales que se originan directamente de síntesis químicas – "agua de proceso" – son, por ejemplo:

- Licores madre
- Agua de lavado de la purificación de productos
- Condensados de vapores
- Agua de enfriamiento
- Agua residual de limpieza de aire de escape / gases de combustión
- Agua residual de limpieza del equipo
- Agua residual de generación de vacío

Corrientes de aguas residuales tributarias de otras fuentes in situ, como:

- Lavado de gases de escape de incineración y servicios
- Acondicionamiento de agua de servicio

- Sangrados de sistemas de alimentación de agua a calderas (que probablemente contienen inhibidores de corrosión biocidas, incrustaciones)
- Sangrados de ciclos de refrigeración
- Lavado a contracorriente de filtros
- Laboratorios y plantas a escala piloto
- Talleres
- Recogida de aguas residuales sanitarias
- Recogida de agua de lluvia de zonas contaminadas
- Lixiviados de vertederos,

contribuyen también a la contaminación del agua. Por lo tanto, el agua residual contiene generalmente como contaminantes casi todos los componentes presentes o generados durante la reacción, como

- Materias de partida sin reaccionar
- Residuos de productos
- Compuestos auxiliares, en la medida en que no se recuperen de las descargas acuosas
- Compuestos intermedios
- Subproductos no deseados.

Si se realizan síntesis con disolventes orgánicos y otros compuestos auxiliares, éstos suelen constituir la mayor parte de la carga contaminante orgánica emitida a las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Por otra parte, los subproductos y compuestos de partida pueden ser muchas veces responsables de la parte poco biodegradable de la carga total de aguas residuales.

La mayor parte del agua residual de proceso (70–90 %) consiste en corrientes tributarias con un bajo nivel de contaminación [cww/tm/82], ej.:

- Agua de limpieza
- Agua residual de la generación de vacío
- Agua residual de limpieza de aire de escape
- Agua residual procedente de equipos como bombas de producto.

Corrientes tributarias como licores madre, descargas acuosas iniciales, purgas de ciclos de limpieza y condensados de vapores componen el 10–30% restante [cww/tm/82].

Al considerar las cargas de contaminación, la relación se invierte. Las corrientes de aguas residuales tributarias (10–30 % del total de aguas residuales) contienen generalmente hasta un 90 % de las cargas contaminantes relevantes [cww/tm/82].

No obstante, las consecuencias de los contaminantes de las corrientes de aguas residuales complejas no son expresadas suficientemente por sus cargas o concentraciones. El impacto de los contaminantes peligrosos y tóxicos con concentraciones próximas al límite de detección puede ser significativo, en contraste con altas concentraciones de sustancias no tóxicas. Así, las aguas residuales de complejos químicos industriales pueden mostrar efectos tóxicos. Alternativamente, pueden observarse efectos de sinergias de distintas corrientes individuales, sin efecto tóxico por sí mismas, cuando se mezclan en el sistema de alcantarillado o en el agua receptora.

Las aguas residuales y su impacto sobre el medio ambiente se caracterizan normalmente por:

- El contenido y la emisión de contaminantes, expresados en carga y concentración de sustancias individuales, como iones  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , los distintos metales pesados, ácidos inorgánicos y sales, aceite.
- El efecto y/o potencial peligroso sobre el cuerpo acuoso receptor, expresado como parámetros indirectos o suma, como SST, DQO, DBO, AOX/EOX, VOX, pH, conductividad y temperatura.
- El efecto sobre los organismos en el agua receptora, expresado como datos de toxicidad como toxicidad aguda, toxicidad crónica o mutagenicidad.
- Propiedades como carga hidráulica.

### 1.1.2. Gases residuales

Las corrientes de gases residuales pueden dividirse de forma general en emisiones conducidas y no conducidas (difusas, fugitivas). Sólo las emisiones conducidas pueden ser tratadas. Por lo que respecta a las emisiones difusas y fugitivas, el objetivo de la gestión de gases residuales es su prevención y/o minimización (ej. capturándolas en un sistema de conducciones).

Las emisiones de gases residuales y de aire de escape en la industria química son:

- Emisiones conducidas, como:
  - Emisiones de proceso emitidas a través de un conducto de ventilación por el equipo de proceso, e inherentes al funcionamiento de la planta.
  - Gases de combustión de las unidades que suministran energía, como hornos de proceso, calderas de vapor, unidades de cogeneración de energía, turbinas a gas, motores a gas.
  - Gases residuales de equipos de control de emisiones, como filtros, incineradores o adsorbedores, que pueden contener contaminantes sin eliminar o contaminantes generados en el sistema de eliminación.
  - Tail-gas de recipientes de reacción y condensadores.
  - Gases residuales de regeneración de catalizadores.
  - Gases residuales de regeneración de disolventes.
  - Gases residuales de ventilaciones de almacenaje y manipulación (transferencia, carga y descarga) de productos, materias primas y compuestos intermedios.
  - Gases residuales de ventilaciones de purgas o equipos de precalentamiento que sólo se utilizan en las operaciones de arranque y parada.
  - Descargas de dispositivos de alivio de seguridad (ej. ventilaciones y válvulas de seguridad).
  - Escape del sistema de ventilación genera.
  - Escape de ventilaciones de fuentes difusas y/o fugitivas capturadas, como por ejemplo fuentes difusas instaladas dentro de un recinto o nave.
- Emisiones difusas (ver Glosario) derivadas de fuentes puntuales, lineales, superficiales o de volumen en circunstancias operativas normales [cww/tm/158]:
  - Emisiones de proceso del equipo de proceso, inherentes al funcionamiento de la planta, emitidas desde una superficie grande o a través de aberturas, etc.
  - Emisiones no conducidas (ej. pérdidas de trabajo y pérdidas por respiración, cuando no son capturadas y conducidas), de equipos de almacenaje y durante operaciones de manipulación (ej. llenado de bidones, camiones o depósitos).
  - Emisiones no rutinarias, derivadas de operaciones distintas del proceso rutinario en la instalación, incluidas emisiones durante arranques o paradas, y durante mantenimiento.
  - Emisiones de antorchas.
  - Emisiones secundarias, derivadas de la manipulación o desecho de residuos (ej. material volátil de alcantarillas, instalaciones de manipulación de aguas residuales o agua de refrigeración).
- Emisiones fugitivas (ver Glosario), como:
  - Fugas de los equipos, de sellos de bombas y compresores, válvulas, bridas, conectores y otros elementos de conducciones, u otros elementos del equipo, como sellos o tapones de ventilaciones.

Los principales contaminantes atmosféricos de procesos químicos y suministro de energía son:

- Dióxido de carbono
- Oxidos de azufre (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>) y otros compuestos de azufre (H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>, COS)
- Oxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O) y otros compuestos de nitrógeno (NH<sub>3</sub>, HCN)
- Halógenos y sus compuestos (Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, HF, HCl, HBr).
- Compuestos de combustión incompleta, como CO y C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>
- Compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos organosilícicos, que pueden incluir compuestos con potencial cancerígeno.
- Partículas (como polvo, hollín, álcali, metales pesados) con posibles propiedades cancerígenas.

## 1.2. Gestión ambiental relativa a aguas y gases residuales

La gestión ambiental como la parte del sistema de gestión global es cada vez más importante. Incluye la estructura organizativa, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar,

poner en práctica, conseguir, examinar y supervisar la política ambiental de la compañía industrial. Por lo que respecta a las aguas y gases residuales, establece las reglas para la participación en la concepción, planificación, evaluación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de un complejo químico, es decir una estrategia para cumplir todos los objetivos relacionados con las aguas y gases residuales. Proporciona ayuda, por ejemplo, para:

- La consideración del posible impacto ambiental a la hora de planificar nuevas líneas de producción, o planificar la ampliación de las existentes.
- Decisiones sobre el proceso de producción previsto.
- Decisiones sobre la aplicación de medidas integradas en el proceso.
- Decisiones sobre la vía de producción.
- Decisiones sobre la elección de la vía de descarga.
- Decisiones sobre la aplicación de tratamiento o control centralizado o descentralizado.
- Decisiones sobre el método para minimizar la contaminación.
- Decisiones sobre la creación de una infraestructura adecuada, o alteración de la existente, con el fin de mejorar la calidad de las aguas y/o gases residuales.
- Evaluación de los efectos sobre otros medios de las distintas estrategias de tratamiento.
- Decisiones sobre la prevención de emisiones fugitivas sustituyendo o modificando equipos antiguos, que tienden a tener índices de fuga más elevados.
- Decisiones sobre la aplicación de un programa de Detección y Reparación de Fugas (LDAR).

Como puede verse en los ejemplos anteriores, la lógica de la gestión ambiental tiene mucho que ver con la toma de decisiones entre varias opciones considerando una situación particular. Y – por supuesto – tiene que ver con la economía y la competitividad. La cuestión principal que la gestión ambiental ayuda a contestar es: ¿Cómo puede hacerse funcionar un complejo y gestionar sus demandas de suministro de recursos y descarga de residuos con el menor impacto posible para el medio ambiente en conjunto, con la mayor eficacia económica posible y sin pérdida de la calidad del producto? La respuesta a esta cuestión es uno de los aspectos en las conclusiones sobre MTD en el Capítulo 4.

Para mantener al mínimo el impacto medioambiental causado por las aguas y/o gases residuales, las empresas deben desarrollar una estrategia ambiental global e integrada. Es importante que esta estrategia refleje los siguientes aspectos:

- El agua es un recurso cada vez más valioso, y el reciclaje del agua de los efluentes tratados, cuando posible y necesario en situaciones especiales, tiene una importancia creciente. Así, el objetivo del tratamiento de aguas residuales es conseguir el reciclaje o la recuperación del agua, así como mejorar la calidad de descarga. El resultado de una estrategia esta estrategia de aguas residuales tan global podría ser, en el análisis final, específico del complejo, aplicable sólo a esa situación particular. No obstante, el enfoque de este resultado normalmente sigue el camino descrito en los Capítulos 2 y 4.
- Aunque el aire no sea un recurso que disminuye, su pureza es esencial para la vida (con aspectos claves como cambio climático y reducción de capa de ozono), de modo que deben realizarse más esfuerzos para evitar la liberación de contaminantes a la atmósfera y reciclarlos en cambio al proceso de producción o utilizarlos en otra parte del complejo.
- En contraste con las aguas residuales, en los gases residuales hay componentes sustanciales –en concreto los gases residuales no conducidos– que no son susceptibles a tratamiento. Deben ser tratados mediante técnicas de prevención. La gestión de emisiones fugitivas consiste en métodos de detección y cuantificación, selección de equipos, y medidas de buen gobierno y mantenimiento preventivo.
- A la hora de planificar y diseñar un proceso de producción, el primer objetivo debe ser la prevención de residuos al medio ambiente. La selección de tecnologías y materias primas limpias facilita este objetivo.
- Al planificar y diseñar un sistema de tratamiento de gases residuales, la decisión de utilizar técnicas con o sin consumo de agua (ej. lavado húmedo, biofiltración, refrigeración mediante agua) es un aspecto importante, principalmente en regiones con escasez de agua.
- Si –como suele ser el caso– no es posible evitar por completo los residuos, el siguiente paso es su minimización, no sólo de su volumen, sino también del impacto causado por sustancias peligrosas que pueden ser sustituidas en el proceso de producción.

- Si se toman todas las medidas de minimización, el siguiente paso es controlar la descarga inevitable aplicando el sistema de tratamiento más eficaz posible, con el fin de minimizar el impacto total sobre el medio ambiente. La elección de este sistema de tratamiento se basa en una evaluación de:
  - o Su eficacia de control
  - o Sus requisitos energéticos
  - o Sus requisitos de espacio
  - o La posible generación de gases o aguas residuales, residuos y ruido
  - o Su consumo de recursos
  - o Sus costes de inversión
  - o Su interferencia con otras unidades y aspectos de seguridad
  - o Sus requisitos de mantenimiento.
- La calidad del medio receptor en el que el complejo industrial vaya a descargar sus residuos puede ser tal que imponga requisitos especiales y más estrictos se la calidad de las aguas y/o gases residuales.

La planificación de acciones es sólo una parte de la gestión ambiental. El siguiente y más importante paso es un proceso de mejora continua se un situación dada, es decir, la repetición a lo largo del tiempo de todas las distintas etapas y pasos. Esto está normalmente apoyado por la política de la empresa sobre aspectos medioambientales para todos sus complejos y por la legislación de los Estados Miembros.

La base para la gestión ambiental –o la gestión de aguas y gases residuales– aplicada al control de residuos es que debe evitarse o al menos minimizarse la introducción de contaminantes en sistemas de tratamiento final no adecuados para su eliminación.

Las oportunidades para introducir o aplicar la gestión ambiental son distintas en plantas nuevas y existentes. En plantas nuevas, las medidas de control preventivas, el tratamiento en planta de corrientes residuales separadas y/o las medidas integradas en el proceso pueden tenerse en consideración de forma efectiva en la etapa de diseño de la planta. Para plantas existentes, la incorporación de instalaciones e infraestructuras existentes puede comportar restricciones técnicas u organizativas, y normalmente será más caro. No obstante, el enfoque y el principio – aunque probablemente no el resultado – de la gestión ambiental según lo propuesto en este documento son básicamente iguales para plantas nuevas y existentes.

En el Capítulo 2 se da una descripción detallada de los sistemas de gestión ambiental e instrumentos para su aplicación.

### 1.3. Tecnología de Tratamiento

Las distintas fuentes de emisiones (acuosas y/o gaseosas) y la variedad de los contaminantes y su carga hacen inevitable la aplicación de un sistema más o menos complejo –según la complejidad de la producción– de técnicas de manipulación (prevención y/o control), basado en decisiones de gestión, para la operación de un complejo químico industrial. Este sistema de manipulación consiste en:

- Medidas integradas en el proceso, como reutilización de agua, ahorro de agua y prevención de contaminación.
- Tratamiento de postproducción (final de línea) (instalaciones individuales y/o centrales).

El modo en que encajan los distintos tipos de técnicas de manejo dentro del ámbito de este documento se muestra en la Figura 1.1 para aguas residuales, y en la Figura 1.2. para gases residuales. Las barras verticales representan los límites de este BREF horizontal.

Las flechas de la Figura 1.1. simbolizan el flujo de aguas residuales. No obstante, esta ilustración no implica que siempre deban existir instalaciones de tratamiento previo si se utiliza una instalación de tratamiento central.

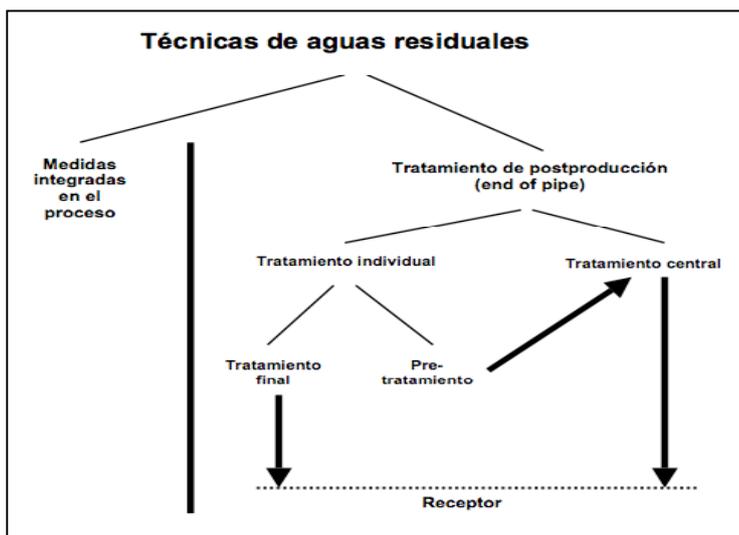


Figura 1.1.:  
Técnicas de manejo de aguas residuales

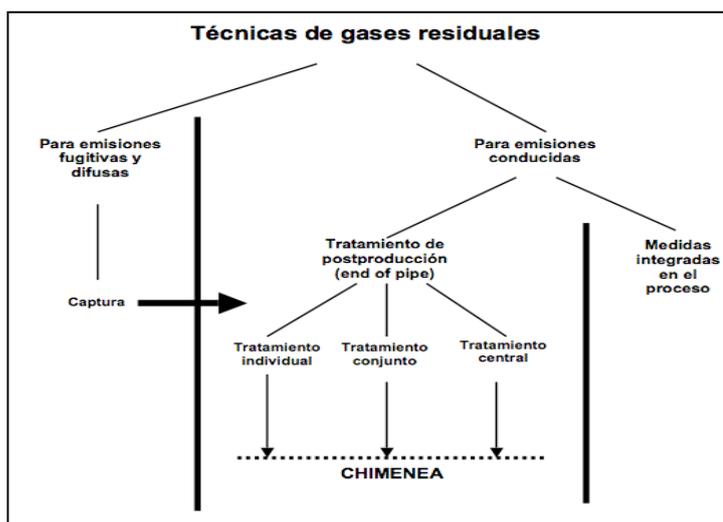


Figura 1.2.:  
Técnicas de manejo de gases residuales

La Figura 1.2. muestra que las emisiones fugitivas y difusas están fuera del ámbito de este documento. Cuando las emisiones fugitivas y difusas pueden ser capturadas, entran en el dominio de las técnicas de tratamiento para emisiones conducidas.

### 1.3.1. Medidas integradas en el proceso

Aunque estrictamente hablando las medidas integradas en el proceso para la prevención de residuos o la reducción de la descarga de contaminantes corresponden al ámbito de los BREF verticales, se mencionan no obstante en este documento horizontal mientras sean generalmente aplicables en procesos de producción química. Se trata en cualquier caso de elementos de buena práctica de gestión y que deben tenerse en consideración a la hora de aplicar un sistema de gestión de aguas y gases residuales en un complejo.

La protección ambiental avanzada se desplaza cada vez más desde métodos de postproducción (final de línea) a medidas integradas en el proceso –o integradas en la producción–. Las medidas integradas en el

proceso son una fuente de mejora ambiental considerable tanto en plantas nuevas como existentes. Tienen por objetivo reducir –o incluso evitar– la producción de residuos directamente en origen antes de se conviertan en una descarga. A menudo estas “mejoras de proceso” contribuyen a reducir costes de medidas de tratamiento adicionales, así como a aumentar la rentabilidad, aumentando el rendimiento de la producción y/o reduciendo el aporte de materia prima. Los costes de desecho y las limitaciones del tratamiento final de línea pueden influir en esta tendencia hacia medidas integradas en el proceso. Aunque la prevención de residuos, y por tanto la aplicación de medidas integradas en el proceso, adquieren cada vez mayor importancia, las técnicas de tratamiento de residuos seguirán siendo una contribución esencial al control de emisiones al medio ambiente, principalmente cuando las medidas integradas en el proceso no sean viables para la producción existente.

Una adecuada protección integrada en el proceso utiliza todas las técnicas físicas, químicas, biológicas y de ingeniería posibles para la prevención, reducción y reciclaje de residuos. Son ejemplos:

- Nuevas vías de síntesis.
- Uso de materias primas y agentes de proceso más puros o incluso distintos.
- Uso de combustibles más puros o incluso distintos.
- Optimización de pasos de proceso.
- Mejora de la tecnología de la planta, control de proceso y secuencia de reacciones.
- Adaptaciones técnicas al proceso.
- Uso mejorado de catalizadores y/o disolventes.
- Reciclaje de productos auxiliares (ej. agua de lavado, gases inertes, disolventes, catalizadores).
- Reciclaje de residuos inmediatamente durante el proceso.
- Uso de residuos como materia prima para otras producciones (integración de productos in situ y/o externamente).
- Uso de residuos para generación de energía.

Evidentemente, el desarrollo de vías de síntesis completamente nuevas en plantas existentes será –principalmente por motivos económicos– una excepción, y estará restringida a productos de gran volumen o productos con alto valor económico. En la práctica, la protección ambiental integrada en la producción irá progresando continuamente como la suma de muchas – y tal vez pequeñas– mejoras a lo largo del tiempo.

### 1.3.2. Técnicas de postproducción (final de línea)

Las técnicas de final de línea son las que tratan las corrientes residuales que se originan en una unidad de proceso o almacenaje, o en una zona – o parte de la misma – para reducir su contenido de contaminantes (ver Figura 1.1 y Figura 1.2).

#### 1.3.2.1. Tratamiento de aguas residuales

Dado que las medidas integradas en el proceso se aplican principalmente en plantas o procesos de producción de nueva construcción por limitaciones económicas debidas a los elevados costes de inversión o limitaciones de la modernización de las plantas existentes (ej. falta de espacio), la industria química y la mayoría de los otros sectores industriales recurren a técnicas de tratamiento final de línea para reducir las aguas residuales y los contaminantes que llevan. Estas técnicas abarcan el pretratamiento o tratamiento final de corrientes de agua residual separadas, así como el tratamiento central de aguas residuales recogidas antes de su descarga a un agua receptora. Las distintas técnicas de tratamiento final de línea de aguas residuales y su aplicabilidad para controlar los principales contaminantes se muestran en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.**  
**Principales contaminantes de aguas residuales y sus respectivas técnicas de tratamiento**

Técnica	SST	DBO DQO TOC	DQO Refrac- taria	AOX EOX	N- total	NH <sub>4</sub> -N (NH <sub>3</sub> )	PO <sub>4</sub> - P	Metales pesados	Feno- les	Acei- te
Sedimentación	X	(X) <sup>a</sup>						(X) <sup>j</sup>		
Filtración por aire	X	X <sup>b</sup>						(X) <sup>j</sup>		X
Filtración	X	(X) <sup>a</sup>						(X) <sup>j</sup>		
MF / UF	(X) <sup>c</sup>	(X) <sup>a</sup>								
Separación de aceite		X								X
Precipitación							X	X		
Cristalización							X	X		
Oxidación química		X	X	X						
Oxidación aire húmedo		X	X	X					X	
SCWO		X	X	X					X	
Reducción química										
Hidrólisis química										
NF / RO		X	X	X				X		
Adsorción		X	X	X				X		
Intercambio iónico		(X) <sup>d</sup>						X		
Extracción		X	X	X						
Destilación/rectificación		X	X	X						
Evaporación		(X) <sup>e</sup>						X		
Desorción		(X) <sup>f</sup>		X		X				
Incineración		X	X	(X) <sup>g</sup>		X		(X) <sup>k</sup>	X	X
Biológica anaerobia		X		(X) <sup>h</sup>	(X) <sup>h</sup>			X <sup>l</sup>		
Biológica aerobia		X		(X) <sup>h</sup>			X		X	
Nitri / desnitrificación					X	X				

<sup>a</sup> sólo sólido  
<sup>b</sup> contenido orgánico sin disolver  
<sup>c</sup> finamente dispersado y baja concentración  
<sup>d</sup> especies orgánicas iónicas  
<sup>e</sup> contenido orgánico no volátil  
<sup>f</sup> contenido orgánico volátil  
<sup>g</sup> se requiere equipo incinerador especial  
<sup>h</sup> sólo parte biodegradable  
<sup>i</sup> compuestos de metales pesados sin disolver  
<sup>k</sup> transferido a ceniza o agua residual procedente del incinerador  
<sup>l</sup> en combinación con sulfatos precipitados como sulfuros

Los grandes complejos químicos suelen tener un extenso sistema para la recogida y tratamiento del agua de proceso. Hay diversos enfoques para el tratamiento de aguas residuales, cada uno de los cuales tiene sus ventajas y desventajas, según la situación:

- Instalaciones descentralizadas de tratamiento de aguas residuales, tratando el efluente acuoso en origen y con descarga a un agua receptora (es decir, sin instalación de tratamiento de aguas residuales in situ).
- Tratamiento centralizado de aguas residuales, normalmente mediante una instalación central de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR).
- EDAR central, con tratamiento previo en origen de corrientes tributarias corriente arriba.
- Descarga de aguas residuales a una EDAR municipal.
- Descarga de aguas residuales a una EDAR municipal con pretratamiento in situ en origen.

Los dos últimos puntos corresponden a situaciones especiales de los dos puntos anteriores, respectivamente.

Las ventajas del tratamiento de aguas residuales descentralizado o del tratamiento en origen (o las desventajas del tratamiento centralizado de aguas residuales) son:

- Los operarios de las distintas instalaciones de producción muestran una actitud más responsable respecto al efluente cuando son directamente responsables de la calidad de sus propias descargas de agua.
- Más flexibilidad para la ampliación de instalaciones o para hacer frente a condiciones cambiantes.
- Las instalaciones para el tratamiento en origen están ajustadas de forma específica, y por lo tanto tienen una mayor eficacia.
- Se evita la dilución mezclando distintas corrientes de aguas residuales, lo que normalmente produce una mayor eficacia de tratamiento, etc.
- La relación entre costes y beneficios puede ser mucho mayor en el tratamiento de corrientes tributarias que en el tratamiento central.

El tratamiento de aguas residuales descentralizado es la opción preferida cuando se esperan corrientes de aguas residuales tributarias con propiedades totalmente distintas.

Las principales ventajas de utilizar una EDAR centralizada (o las desventajas de las instalaciones de tratamiento descentralizadas) son:

- Aprovechamiento de los efectos de sinergias al mezclar aguas residuales biodegradables, es decir, efectos que permiten la degradación microbiológica de contaminantes especiales en una mezcla con otros (o incluso en una dilución con otras corrientes de aguas residuales), mientras que la corriente tributaria por sí misma tiene escasa biodegradabilidad.
- Aprovechamiento de efectos de mezcla, como ajuste de temperatura o de pH.
- Uso más eficaz de agentes químicos (ej. nutrientes) y equipos, reduciendo los costes operativos relativos.

Las aguas residuales de complejos químicos industriales se tratan también junto con aguas residuales municipales, bien en EDAR municipales comunes o en plantas especialmente construidas para el tratamiento combinado de aguas residuales municipales e industriales. El tratamiento conjunto se dispone con frecuencia de forma que, debido a su elevada carga orgánica inicial y la tendencia a la reducción de las velocidades de degradación en aguas residuales diluidas, el agua residual industrial es sometida inicialmente a un paso de tratamiento de alta eficacia (carga alta), y posteriormente se mezcla con el agua residual municipal en un segundo paso biológico (carga baja).

La experiencia ha demostrado que el tratamiento conjunto de aguas residuales municipales y de la industria química no tiene –al menos en una primera aproximación– efectos sinérgicos ni antagonistas sobre el agua receptora [cww/tm/82] (en el Anexo 7.1 se describe un ejemplo contrario de operación coordinada de una EDAR química y municipal). Las cargas contaminantes desechadas son normalmente aditivas.

Las ventajas [cww/tm/82] del tratamiento conjunto de aguas residuales pueden ser:

- La estabilidad operativa del tratamiento biológico conjunto puede estar influenciada favorablemente por:
  - o La mejora de las condiciones de los nutrientes.
  - o La mejora de la temperatura del agua residual y con ella la cinética de degradación.
  - o La ecualización de la carga de alimentación, siempre que las líneas de progreso diario de las dos corrientes de aguas residuales estén correspondientemente estructuradas, o puedan equilibrarse entre sí.
  - o La supresión de los efectos tóxicos e inhibitorios de los constituyentes de las aguas residuales, reduciendo las concentraciones por debajo de los umbrales críticos.
- El tratamiento conjunto de las aguas residuales y el exceso de lodo activado pueden, en casos individuales, producir ahorros en costes de inversión y costes operativos.

Las desventajas pueden ser:

- Los sistemas con desagües mixtos y sin tanques intermedios apropiados para el exceso de lluvia pueden sufrir una sobrecarga hidráulica en caso de fuertes precipitaciones, lo que puede llevar a un aumento de la descarga de contaminantes acompañado de pérdida de bacterias del compartimento de lodo activado de la EDAR central [cww/tm/82].

- Reducción de la eficacia de limpieza debido a perturbaciones operativas relacionadas con la producción, que producen un aumento de la contaminación del agua debido a un tratamiento insuficiente de las corrientes residuales industrial y municipal [cww/tm/82].
- Bastantes compuestos químicos pueden, incluso a bajas concentraciones, dificultar la nitrificación. Si el paso de nitrificación se colapsa, puede tardar varias semanas en recuperarse y asegurar de nuevo una eliminación suficiente de nitrógeno. Por ello, para minimizar el riesgo para el tratamiento conjunto de aguas residuales, es crucial estudiar y monitorizar cuidadosamente las corrientes de aguas residuales procedentes de la parte industrial, por si existen factores inhibidores o perturbadores [cww/tm/82]
- El tratamiento combinado de corrientes de aguas residuales de distintos orígenes tiene el riesgo de que los contaminantes persistentes, como metales pesados y compuestos no biodegradables, puedan escapar al control –e incluso a la detección– debido a la dilución. Estos contaminantes son descargados sin degradación a un agua receptora, se adsorben sobre el lodo activado, o son enviados a la atmósfera durante la aireación. Esto iría en detrimento de la obligación de controlar estas sustancias en origen. Esta desventaja afecta todas las acciones de tratamiento de corrientes de aguas residuales combinadas.
- El tratamiento combinado puede producir un lodo demasiado contaminado para su uso ulterior o su tratamiento adicional, por ejemplo mediante digestión anaerobia.

Otro aspecto importante del sistema de aguas residuales es la manipulación de agua de lluvia y de agua de enjuague. En una serie de complejos químicos antiguos en Europa sólo existe un sistema de alcantarillado, y el agua de lluvia, el agua de enjuague, el agua de refrigeración y el agua de proceso se recogen en este sistema y se dirigen a las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Especialmente durante periodos de fuertes lluvias, esto puede producir perturbaciones de la EDAR y aumentar las descargas. Los complejos químicos avanzados tienen normalmente un sistema de alcantarillado separado para la recogida de agua de lluvia sin contaminar y de agua de refrigeración. Más información en la Sección 3.3.4.4.

### 1.3.2.2. Tratamiento de gases residuales

Las técnicas de tratamiento de gases residuales suelen encargarse de la reducción de:

- Partículas
- Vapores de sustancias líquidas volátiles
- Contaminantes atmosféricos gaseosos.

El tratamiento de gases residuales normalmente se produce directamente en origen. Sólo raramente es posible tratar corrientes de gases residuales de distintas características de forma simultánea en una unidad de tratamiento central. Un motivo fundamental es que las unidades de tratamiento están normalmente específicamente diseñadas para una composición particular de gas residual. Otro motivo importante es que debe prestarse especial atención a la emisión de componentes peligrosos y tóxicos y a su impacto en el entorno, así como a la seguridad de la planta. En la industria química, dada la toxicidad y/o características peligrosas de muchos componentes y los volúmenes generalmente grandes que se manejan y procesan, la seguridad es un aspecto crucial.

En la Tabla 1.2 se facilita una selección de técnicas por contaminantes, y en la Tabla por caudal de gases contaminantes [ambas cww/tm/70].

**Tabla 1.2.**  
**Selección de técnicas para la reducción de emisiones de gases residuales en relación con el contaminante a eliminar**

Técnica	olor						
	compuestos orgánicos gaseosos o vaporosos						
	compuestos inorgánicos gaseosos o vaporosos						
	partículas orgánicas						
	partículas inorgánicas						
	materia húmeda						
	materia seca						
<b>Recuperación y eliminación de polvo</b>							
Separador (pre)	x	x	x	x			
Ciclón (pre)	x	x	x	x			
Lavador de polvo húmedo (TF)	x	x	x	x			
Precipitador electrostático (TF)	x	x	x	x	(x)	(x)	
Filtro de mangas (incl. filtro cerámico) (TF)	x		x	x			
Filtración catalítica (TF)	x	x	x	x		x	
Filtro de polvo de dos etapas (lim)	x		x	x			
Filtro absoluto (HEAP) (lim)	x		x	x			
HEAF (lim)		x					
Filtro de neblina (pre, lim)		x			(x)		
<b>Recuperación de gas</b>							
Separación por membrana (pre)						x	
Condensador (pre)					(x)	x	
Criocondensación (pre, TF)					(x)	x	(x)
Adsorción (TF)					x	x	x
Lavador de gas húmedo (agua) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
Lavador de gas húmedo (alcalino) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
Lavador de gas húmedo (alcalino-oxidación) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)			x
Lavador de gas húmedo (ácido) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
<b>Eliminación de gas</b>							
Biofiltración (TF)					x	x	x
Biolavado (TF)					x	x	x
Goteo biológico (TF)					x	x	x
Oxidación térmica (TF)				x		x	x
Oxidación catalítica (TF)						x	x
Combustión en antorcha (TF)						x	x
<b>Tratamiento de gas de combustión</b>							
Inyección de álcali seca (TF)					x		
Inyección de álcali semiseca (TF)					x		
Inyección de cal húmeda (TF)					x		
RNCS (TF)					x		
RCS (TF)					x	(x)	

x = aplicación primaria  
(x) = aplicación secundaria  
(pre): principalmente como instalación de pretratamiento  
(TF): técnica de tratamiento usada como técnica de tratamiento final  
(lim): principalmente como técnica de limpieza después de una técnica estándar

**Tabla 1.3.**  
**Selección de técnicas para la reducción de emisiones de gases residuales en relación con el caudal de gas residual**

Técnica	100 [Nm <sup>3</sup> /h]	1000 [Nm <sup>3</sup> /h]	10000 [Nm <sup>3</sup> /h]	100000 [Nm <sup>3</sup> /h]
<b>Recuperación y eliminación de polvo</b>				
Separador	x	x	xx	xx
Ciclón	x	xx	xx	x
Lavador de polvo húmedo		x	xx	xx
Precipitador electrostático (1 etapa)			x	x
Filtro de mangas	x	x	xx	xx
Filtro cerámico		xx	x	x
Filtración catalítica	x	x	x	
Filtro de polvo de 2 etapas		x	x	
Filtro absoluto (HEAF)	x	x		
HEAF	xx	xx	x	
Filtro de neblina		x	xx	xx
<b>Recuperación de gas</b>				
Filtración por membrana				
Condensador	x	x	xx	x
Criocondensación	x	x		
Adsorción	x	xx	xx	x
Lavador de gas húmedo (agua)	x	x	xx	xx
Lavador de gas húmedo (alcalino)	x	x	xx	xx
Lavador de gas húmedo (alcalino-oxidación)	x	x	xx	x
Lavador de gas húmedo (ácido)	x	x	xx	xx
<b>Eliminación de gas</b>				
Biofiltración	x	xx	xx	xx
Biolavado	x	x	x	x
Goteo biológico	x	x	x	x
Oxidación térmica		x	xx	
Oxidación catalítica		x	xx	
<b>Tratamiento de gas de escape de combustión</b>				
Inyección de álcali seca			xx	x
Inyección de álcali semiseca			x	xx
Inyección de cal húmeda		x	x	x
RNCS	x	x	x	x
RCS		x	xx	xx
x = aplicación xx = aplicaciones más comunes				

#### 1.4. Impacto ambiental del tratamiento de aguas y gases residuales y sus interdependencias

Aunque los sistemas de tratamiento de aguas residuales reducen generalmente las emisiones al agua, la operación de estos sistemas tiene su propio efecto medioambiental. Especialmente relevantes para las emisiones a la atmósfera del tratamiento de aguas residuales son las corrientes de agua contaminadas con compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos inorgánicos volátiles (ej. amoníaco, sulfuro de hidrógeno o cloruro de hidrógeno). Cuando estos caudales de agua están en conexión abierta con la atmósfera, pueden ocurrir emisiones (olorosas) de estos componentes. Debe prestarse especial atención a la aireación de las balsas de tratamiento biológico de aguas residuales, operaciones de agitación, tanques intermedios abiertos, tanques de sedimentación e instalaciones de desorción de aguas residuales. En todos estos casos, la emisión de contaminantes puede trasladarse del compartimento de agua a la atmósfera. Por ello, puede ser necesario tratamiento adicional de gases residuales. También pueden producirse emisiones a la atmós-

fera de la mezcla de corrientes de agua con distintas temperaturas o la adición de ácidos o bases para el ajuste del pH.

El posible impacto de las plantas de tratamiento de aguas residuales sobre los compartimentos medioambientales se describe brevemente en la Tabla 1.4 [cww/tm/84].

**Tabla 1.4.**  
**Impacto potencial de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales**

Compartimento ambiental	Posibles efectos / emisiones
Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaporación / formación de olor (ej. H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, mercaptanos etc.).</li> <li>• Formación de aerosoles.</li> <li>• Deriva de microorganismos potencialmente peligrosos desde la planta de tratamiento.</li> <li>• Emisiones de COV (evaporadas o separadas del agua)</li> <li>• Si se genera biogás y no se utiliza como combustible para suministro de energía, normalmente se quema en antorcha, produciendo emisiones a la atmósfera.</li> </ul>
Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En principio, reducción significativa de las emisiones al agua.</li> <li>• Cuando el agua de lluvia se trata junto con agua de proceso, el sistema de tratamiento puede quedar sobrecargado en caso de fuertes lluvias, lo que puede causar emisión adicional de contaminantes, ya que el sistema de tratamiento no puede funcionar adecuadamente..</li> </ul>
Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lodo de tratamiento de aguas residuales y soluciones de lavadores.</li> </ul>
Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La EDAR central consume energía. En algunos casos se genera biogás, que puede usarse como fuente de energía.</li> </ul>

Otros puntos relevantes de preocupación son el consumo de energía y la generación de lodo de las técnicas de tratamiento de aguas residuales. La generación y la manipulación del lodo (ej. deshidratación, incineración) explican una parte significativa de los requisitos de energía y el impacto ambiental de una EDAR. Por otra parte, existen sistemas de tratamiento con un balance de energía beneficioso. En unidades de tratamiento biológico anaerobio de aguas residuales, por ejemplo, el gas generado por el tratamiento (biogás) puede ser usado como combustible. De lo contrario debe quemarse en antorcha, causando emisiones atmosféricas sin tratar.

Lo que se ha dicho sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en los párrafos precedentes es también válido para tecnologías de tratamiento de gases residuales. Sus impactos ambientales relevantes son emisiones a los compartimentos de atmósfera y agua. Los procedimientos de lavado húmedo, por ejemplo, significan que el agua residual debe ser tratada en un paso de tratamiento subsiguiente. La oxidación de gases residuales descarga un gas de combustión que contiene contaminantes gaseosos no presentes en el gas original, que podría requerir ulterior tratamiento de gas residual. Al igual que en el tratamiento de aguas residuales, la operación de instalaciones de gases residuales está relacionada con el consumo de energía y agua, éste que es una cuestión esencial en condiciones climáticas especiales. Esto se examina brevemente en la Tabla 1.5.

Además de antorchas y oxidadores térmicos / catalíticos, la industria química cuenta con gran número de instalaciones ambientales y de seguridad. El objetivo principal de estas instalaciones es reducir el impacto ambiental o aumentar la seguridad de funcionamiento de la planta. Las instalaciones varían desde medidas muy simples a unidades de tratamiento complejas.

En general, los efectos globales de las instalaciones ambientales y de seguridad deberían ser positivos. Es el motivo primordial de su instalación. Sin embargo, debido a leyes de conservación fundamentales, la mayor parte de tecnologías de tratamiento pueden tener, además de sus capacidades de purga, impactos negativos en el medio ambiente. Los ejemplos de estos efectos sobre otros medios son los residuos generados por filtros, el agua residual generada por lavadores y el aumento del consumo de energía debido a la operación de sistemas de tratamiento. Es difícil dar una indicación del punto de inflexión, en el que los efectos positivos

**Tabla 1.5.**  
**Impacto potencial de las instalaciones de tratamiento de gases residuales**

Compartimento ambiental	Posibles efectos / emisiones
Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En principio (y principalmente), reducción significativa de emisiones contaminantes.</li> <li>• Sustitución de COV por contaminantes de gases de combustión, como óxidos de carbono, haluros de hidrógeno, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dioxinas, en el caso de oxidación térmica / catalítica.</li> <li>• Emisiones de antorchas.</li> </ul>
Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los procesos de lavado / absorción transfieren contaminantes atmosféricos al agua.</li> <li>• Algunos procesos de tratamiento necesitan demasiada agua (ej. lavado, condensación con agua corriente).</li> </ul>
Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lodo de tratamiento secundario del agua residual que se origina del tratamiento de gases residuales.</li> <li>• Residuos de instalaciones de tratamiento de gases residuales (ej. sólidos separados, líquido condensado no reciclado, adsorbente consumido, catalizador consumido).</li> </ul>
Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las instalaciones de tratamiento de gas residual normalmente consumen energía.</li> </ul>

superan a los efectos negativos de una medida de tratamiento, ya que esto está fuertemente influenciado por las condiciones locales. Como regla empírica podría decirse que la calidad ambiental local y la seguridad deberían tener prioridad. Además, generalmente se considera preferible que los contaminantes estén en el estado más concentrado y controlable. Esto ofrece las mejores oportunidades de reciclaje, tratamiento ulterior o desecho controlado.

En resumen, el tratamiento de aguas y gases residuales, además de sus impactos individuales en el ambiente, se afectan entre sí en distintas formas:

- Diversas técnicas de tratamiento de aguas residuales causan emisiones gaseosas, que deben ser conducidas a instalaciones de tratamiento de gases residuales corriente abajo, lo que a menudo comporta pasos de construcción complejos.
- Las tecnologías de tratamiento de gases residuales producen emisiones gaseosas y/o acuosas, que requieren ulterior tratamiento de gases y/o aguas residuales.

Cada elemento (emisiones gaseosas a instalaciones de tratamiento de gases residuales o acuosas a instalaciones de tratamiento de agua residuales) pueden influir normalmente en las instalaciones existentes corriente abajo aunque, en la mayor parte de casos sólo producen un reducido aumento de carga. Son ejemplos contrarios el lavado húmedo de los gases de escape o la desorción de material volátil de plantas de tratamiento de aguas residuales.

# Capítulo 2.

## Gestión de Aguas / Gases Residuales

El Capítulo 2 añade detalle a la descripción general del Capítulo 1 y describe los aspectos de la gestión de aguas y gases residuales en el contexto de la IPPC. Esto enfatiza la importancia de la gestión a la hora de conseguir un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto en el funcionamiento de una planta o complejo químico. Cuando es posible, se mantiene el enfoque conjunto de las emisiones acuosas y gaseosas; sólo se hacen referencias al medio cuando se trata de estrategias o instrumentos específicos de un determinado medio.

Este capítulo describe la gestión ambiental como la interacción entre sistemas e instrumentos de gestión, y no se limita estrictamente a aspectos de aguas y gases residuales, sino a la implicación con los requisitos de la IPPC. De lo contrario no se cumpliría el objetivo de un enfoque integrado.

La aplicación de un sistema de gestión ambiental en un complejo dado depende del impacto ambiental de las actividades en él realizadas, y debe tener en cuenta la situación ambiental específica en el complejo y sus alrededores. Este capítulo presenta el programa general y los instrumentos relevantes para la puesta en práctica un sistema de gestión ambiental válido para complejos químicos.

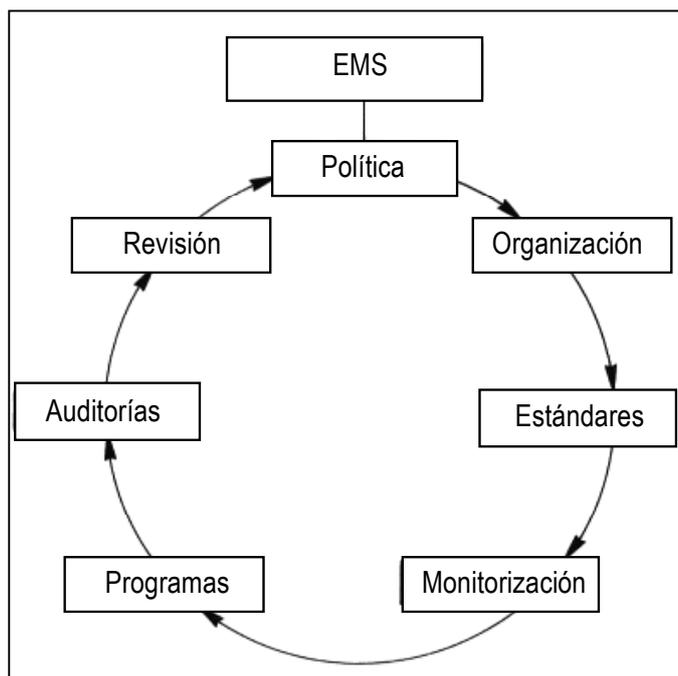
### 2.1. Sistema de Gestión Ambiental (SGA)

Como se ha mencionado brevemente en el Capítulo 1, la importancia de la gestión ambiental, a menudo referida como gestión de “Salud, Seguridad y Medio Ambiente” (SSMA), no puede ser sobrestimada. Esto tiene muchas ventajas, como:

- Mejor comprensión de los aspectos ambientales de la empresa
- Mejora de la base para la toma de decisiones
- Mayor motivación del personal
- Oportunidades adicionales para reducir costes operativos y mejorar la calidad de los productos
- Mejor comportamiento ambiental
- Mejora de la imagen de la empresa
- Reducción de responsabilidad, costes de seguros, incumplimientos
- Mayor atractivo para empleados, clientes e inversores
- Mejora de la relación con autoridades y grupos ecologistas.

En general, un SGA consiste en un círculo de elementos estratégicos, como se muestra en la Figura 2.1 [cww/tm/132]:

- Política ambiental, lo que significa una declaración pública – aprobada y refrendada por el más alto nivel de dirección de las intenciones, principios de acción y objetivos que gobiernan la gestión de una empresa con respecto al medio ambiente.
- Organización y estructura para la puesta en práctica de la política ambiental de la empresa.
- Registro completo de la legislación aplicable y de la normativa de la empresa.
- Programa de muestreo regular y monitorización del complejo, en base a objetivos globales a largo plazo, establecidos al máximo nivel alcanzable, junto con datos del registro de efectos medioambientales.
- Auditorías medioambientales.
- Examen y evaluación regular de la idoneidad y eficacia del SGA, cuyo resultado influye sobre la política ambiental, cerrando e iniciando de nuevo el círculo.



*Figura 2.1.  
El círculo del Sistema de Gestión Ambiental (SGA)*

Este “círculo” significa que el SGA no es un proceso de un solo paso, sino una forma iterativa de optimizar la situación ambiental o la actitud de una empresa o centro de actividades industriales.

Hay normas aceptadas para SGA, como:

- ISO 9001 / 14001 (Organización Internacional para la Normalización)
- EMAS (Comisión Europea, Reglamento del Consejo 761/2001 – Esquema de Ecogestión y Auditoría Ambiental), que adoptó los requisitos de la norma ISO 14001
- Responsible Care® (Cuidado Responsable) (Industria Química)
- Carta de las Empresas para el Desarrollo Sostenible de la CCI (Cámara de Comercio Internacional)
- Directrices del CEFIC para la Protección del Medio Ambiente (Consejo Europeo de la Industria Química).

No entra en el ámbito de este documento dar una perspectiva detallada de todo el SGA para un complejo químico, por lo que en adelante el término “SGA” queda limitado a su conexión con la gestión de aguas y gases residuales en el contexto de aspectos de IPPC.

El SGA es un excelente elemento para mejorar el comportamiento medioambiental de un complejo industrial. Ofrece a la dirección de una empresa la posibilidad de:

- Tener una mejor comprensión de los mecanismos que generan contaminación en los procesos de producción.
- Realizar decisiones equilibradas sobre medidas medioambientales.
- Evitar soluciones temporales e inversiones sin rendimiento.
- Actuar de forma adecuada y proactiva ante los nuevos desarrollos ambientales.

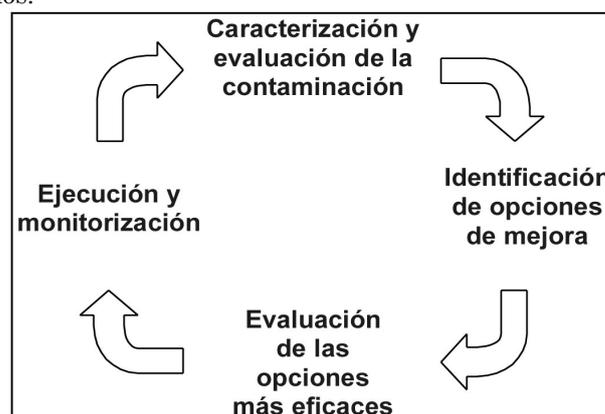
El SGA sigue regularmente la estrategia de un proceso cíclico de:

- Análisis o caracterización de la contaminación / evaluación de los procesos de fabricación para comprender cómo se genera la contaminación, mediante los instrumentos que se detallan en la Sección 2.2.1.
- Determinación de la posibilidad de reducción de la contaminación, mediante medidas como:
  - Consideración del impacto medioambiental a la hora de planificar nuevas líneas de producción o la ampliación de líneas de producción existentes.

- Replanteamiento y rediseño de la tecnología de proceso, por ejemplo un cambio a tecnología de proceso más limpia, materias primas más limpias y/o mejora en el equipo del proceso.
  - Medidas de prevención integradas en el proceso.
  - Posibilidades de reciclar el contenido de residuos.
  - Opciones para mejorar la recogida y control de emisiones, ej. optimizando las emisiones mediante tratamiento previo.
  - Medidas de postproducción (final de línea).
  - Evaluación de tratamientos de final de línea centralizados, frente a los descentralizados.
- Evaluación de las opciones más efectivas, teniendo en consideración:
    - Los beneficios e impactos medioambientales, como la eficacia de eliminación global, o el balance global de efectos sobre otros medios.
    - La viabilidad técnica, organizativa y económica.
    - Restricciones y opciones específicas del complejo (como requisitos de espacio frente a limitaciones de espacio, calidad de los medios receptores).
    - Aspectos de seguridad.
    - Recursos y servicios requeridos.
  - Ejecución del objetivo y monitorización de su consecución según un plan de acción, que contiene elementos como:
    - Programa de acción.
    - Responsabilidad de acción.
    - Datos a evaluar.
    - Método y frecuencia de monitorización.
    - Directrices en las que se basan el proceso de monitorización y de evaluación.
 y que va seguido de una evaluación de los resultados.

El ciclo se ilustra en la Figura 2.2. La evaluación reinicia todo el ciclo, dado que, como se ha indicado anteriormente, el SGA es un proceso iterativo.

Parte del SGA es la evaluación del impacto medioambiental en etapas tempranas de planificación del desarrollo del proceso y/o de sus nuevas actividades. Debe decidirse (utilizando el ciclo de la Figura 2.2):



**Figura 2.2. Estrategia de un SGA orientado a un complejo**

- ¿Cuál es –o puede ser– su impacto?
- ¿Qué ocurre con los residuos?
- ¿Pueden tratarse en instalaciones existentes?
- ¿Son tóxicos (agudamente tóxicos) con respecto a los medios receptores o las instalaciones de tratamiento existentes)?
- ¿Pueden –o deben– evitarse?

La operación de un SGA es un procedimiento complejo, ya que debe seguirse el ciclo de la Figura 2.2 para todas las unidades de proceso individuales con todos los aspectos medioambientales relevantes con respecto al resultado para todo el complejo. La Figura 2.3 ofrece una perspectiva general de esta complejidad, aunque hay que precisar que sólo se incluyen algunos aspectos ambientales fundamentales – una estrategia de tratamiento de contaminación orientada a la planta – y dos unidades individuales. Los pasos 1 a 4 corresponden a los de la Figura 2.2.

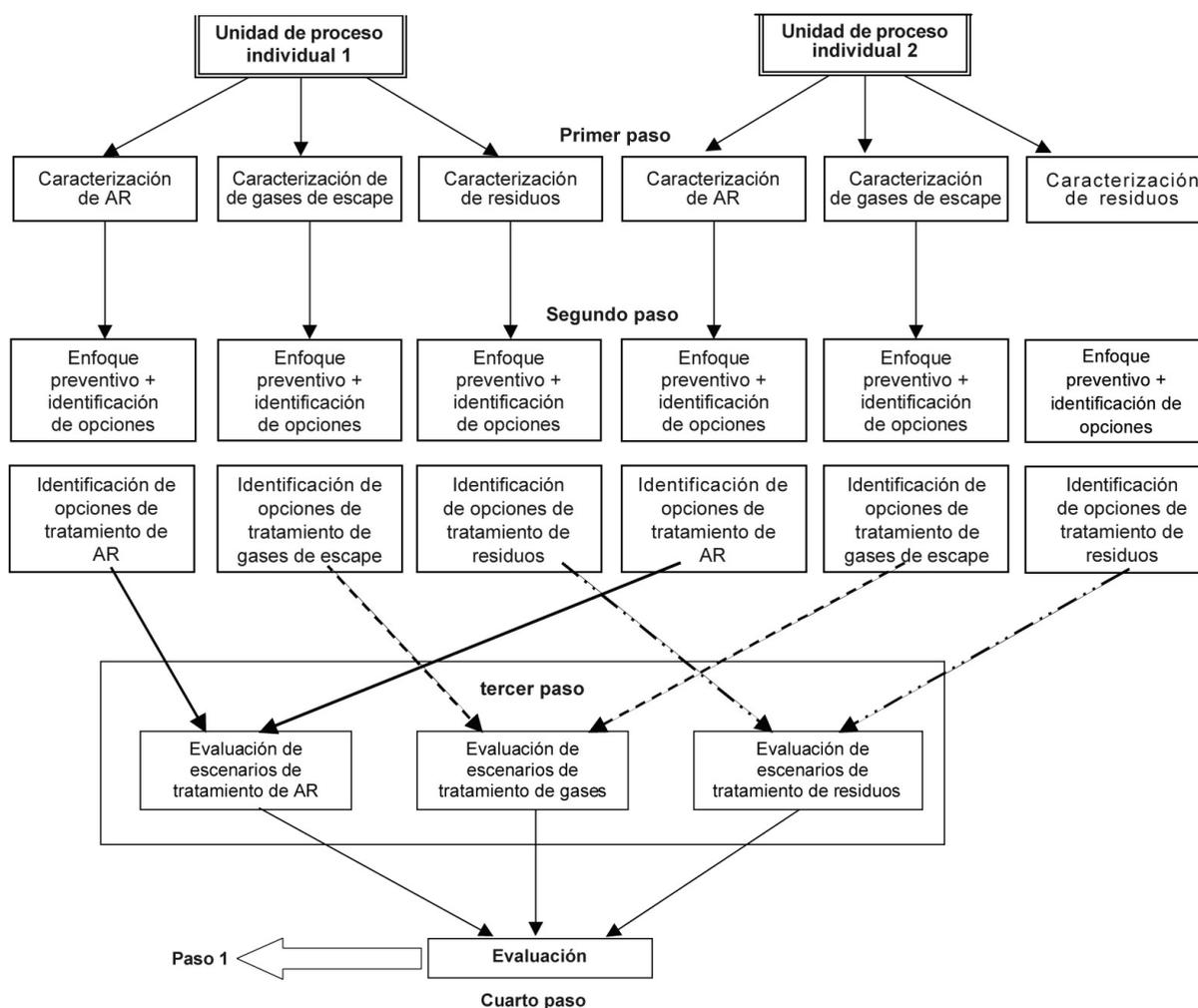


Figura 2.3. Complejidad de un SGA orientado a un complejo

El SGA se lleva a la práctica mediante un juicio experto, apoyado por instrumentos de gestión. Los distintos tipos de instrumentos se presentan y explican en la Sección 2.2.

## 2.2. Instrumentos de gestión

Para operar un SGA en torno al círculo de elementos estratégicos (ver Figura 2.1), se utilizan varios tipos de instrumentos de (gestión e ingeniería), que pueden clasificarse de forma general como:

- Instrumentos de inventario, que proporcionan información detallada sobre la ubicación, la producción, las circunstancias ambientales, las emisiones, etc. del complejo químico y por lo tanto ayudan a detectar emisiones que pueden prevenirse o reducirse.
- Instrumentos operativos, que ayudan a decidir sobre planificación, diseño, instalación, operación y mejora de las instalaciones de prevención de la contaminación y/o tratamiento.
- Instrumentos estratégicos, que incluyen la organización y operación de la manipulación de emisiones en todo el complejo industrial de forma integrada.
- Instrumentos de seguridad o emergencia, necesarios para la solución de problemas en caso de episodios imprevistos.

### 2.2.1. Instrumentos de gestión de inventario

Para operar un complejo industrial de acuerdo con un buen SGA, es esencial tener información detallada y transparente sobre:

- El complejo y sus circunstancias ambientales.
- Los procesos de producción.
- Las características de los contaminantes de los procesos de producción individuales
- Las características de las corrientes emitidas.
- La situación local.

Sin este conocimiento no es posible desarrollar una estrategia coherente, eficaz y rentable para prevenir o reducir emisiones. Aunque con frecuencia es virtualmente imposible cuantificar las emisiones de cada contaminante presente en cada corriente emitida, normalmente puede encontrarse una forma de reducir los parámetros necesarios (ej. número de mediciones) sin pérdida de información relevante.

#### 2.2.1.1. Inventario del complejo

Un inventario del complejo consiste en información sobre:

- Ubicación (mapa, plano).
- Clima, geografía, calidad del suelo y del agua subterránea, vecindad, agua receptora.
- Tamaño del complejo (superficie total, superficie construida, superficie con alcantarillado, superficie cubierta).
- Número de empleados.
- Unidades de producción.
- Lista de plantas de producción incluyendo, para cada una, datos sobre:
  - Clasificación de las plantas de producción según la Directiva, Anexo I, 4. Industria Química, 4.1 – 4.6
  - Datos típicos de producción de las plantas,
- Información sobre los procesos de producción, que proporciona para cada proceso:
  - Una breve descripción.
  - Esquemas de proceso simplificados con fuentes de corrientes residuales.
  - Detalles de las reacciones químicas (reacciones principales y secundarias) y operaciones auxiliares.
  - Información sobre material operativo, compuestos intermedios y productos finales.
  - Modo de operación (proceso continuo o discontinuo, u operación por campañas).
  - Posibles situaciones de emergencia (vertidos, fugas)
- Sistema de alcantarillado (alcantarillas, EDAR, desagüe de agua de lluvia).

#### 2.2.1.2. Inventario o registro de corrientes

La recopilación de datos básicos relevantes sobre la composición y cantidad de las corrientes de aguas y gases residuales –cada una individualmente– se realiza en un inventario o registro de corrientes (registro de aguas residuales, registro de gases residuales). Las corrientes emitidas se listan en relación con su fuente, es decir, el proceso de producción en el que tienen su origen. Este es un elemento clave a la hora de evaluar su grado de contaminación y la naturaleza de los contaminantes, así como las posibilidades de reducción en origen. Las fuentes de aguas residuales se detallan en la Sección 1.1.1, las de gases residuales en la Sección 1.1.2.

Un registro de corrientes consiste en:

- Información sobre el proceso de producción química, como:
  - Fórmula de la reacción química, incluidos compuestos de partida, productos y subproductos.
  - Diagrama de flujo simplificado de la unidad de producción correspondiente, que muestre el reactor, la concentración y el aislamiento del producto, así como el origen exacto de las diversas contribuciones a las emisiones.
- Información sobre las corrientes emitidas, como:
  - Componentes y su variabilidad.
  - Datos relevantes sobre concentración y carga de componentes significativos y su variabilidad (incluido método y frecuencia de monitorización).

- Caudal de las corrientes y su variabilidad (ej. pulsantes, continuas o discontinuas).
- Temperatura.
- pH (para aguas residuales).
- Conductividad (para aguas residuales).
- Inflamabilidad (para aguas residuales).
- Límites de explosión (límite de explosión inferior – LEL – y límite de explosión superior –HEL).
- Reactividad (para gas residual).
- Contaminantes y/o parámetros relevantes, como:
  - DQO/TOC, NH<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub>-N, fósforo, metales pesados, hidrocarburos halogenados, contaminantes orgánicos persistentes (POP) – cuando se esperen – y toxicidad en aguas residuales.
  - Cloro, bromo, flúor, cloruro de hidrógeno, óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), partículas, metales pesados y sus compuestos, compuestos orgánicos volátiles (COV) en gases residuales.
- Datos sobre biodegradabilidad en agua (para aguas residuales), como:
  - Concentraciones de DBO.
  - Resultados del test modificado de Zahn-Wellens.
  - Cargas refractarias de DQO/COT.
  - Potencial de inhibición de desnitrificación.
- Presencia de otras sustancias (para gas residual) que puedan tener impacto sobre el sistema de tratamiento o tener aspectos de seguridad, como oxígeno, nitrógeno, vapor de agua, polvo.

La finalidad de un inventario de corrientes es identificar las emisiones más relevantes (para cada medio, aguas residuales y gases residuales) y permitir una asignación de prioridades de los pasos de reducción de emisiones a adoptar. Generalmente hablando, es una operación en cuatro pasos:

- Lista de fuentes.
- Evaluación de las causas de emisiones de cada fuente.
- Cuantificación de la cantidad de emisión de cada fuente.
- Validación de los resultados mediante un balance de materia.

Una clasificación o ranking apropiado de las distintas corrientes tributarias (es decir, individualmente para aguas y gases residuales), correspondiente a las características y carga de contaminantes, es una parte decisiva del inventario y una base atractiva para la identificación del potencial de reducción adicional de emisiones (ver Sección 2.2.1.3), en la que corrientes situadas en la parte superior de cada lista de clasificación son candidatas primordiales para una reducción de emisiones de la máxima eficacia.

En complejos químicos, las medidas para la reducción de emisiones de realizan mejor para los procesos químicos en los que puede conseguirse un índice óptimo de beneficio medioambiental. Para instalaciones existentes, pueden tolerarse índices de eliminación subóptimos para corrientes menores emitidas que no lleven una carga considerable, mientras se concentran los esfuerzos en corrientes que contengan cargas considerables, reduciendo con ello las emisiones globales y el impacto ambiental.

### 2.2.1.2.1. Evaluación Global de Efluentes (WEA)

Las descargas de efluentes se han evaluado y regulado en gran medida en base a propiedades físicas y químicas, como DQO, DBO, SST, pH y concentraciones de sustancias peligrosas específicas. Estas propiedades proporcionan una base sólida para controlar los efluentes que contienen relativamente pocos contaminantes bien caracterizados, con propiedades toxicológicas bien definidas y comprendidas. No obstante, a veces es muy difícil evaluar la importancia ambiental de efluentes complejos y variables en base a su composición y propiedades fisicoquímicas.

La evaluación global de efluentes es una metodología para evaluar corrientes de aguas residuales complejas, y es adicional al uso de parámetros indirectos y suma como DQO, AOX o EOX. La finalidad es evaluar el posible carácter peligroso de los efluentes, que estaría insuficientemente controlado si se basara sólo en las indicaciones químicas proporcionadas por estos parámetros suma o por límites establecidos para compuestos químicos individuales. La evaluación global de efluentes proporciona un modo adicional y tal vez incluso más directo de evaluar el impacto potencial de efluentes sobre el entorno acuático, y es probable que desempeñe un papel creciente en la reglamentación de descargas, complementando o quizá sustituyendo las mediciones tradicionales de calidad de los efluentes en la monitorización ambiental y evaluación de riesgos.

La cooperación y comprensión mutua entre las autoridades reguladoras y las empresas será esencial para asegurar un control apropiado y adecuado de las descargas de efluentes complejos.

Los métodos de ensayo biológico, o bioensayos, se utilizan para la evaluación global de toxicidad de efluentes, con bioensayos para peces, algas, bacterias y crustáceos. Su ventaja sobre los análisis químicos de sustancias individuales es que las propiedades tóxicas de las muestras de agua se determinan de forma integrada, y los efectos interactivos, que pueden ocurrir cuando hay presentes varios contaminantes, se evalúan directamente. Con los métodos de ensayo biológico es posible determinar la importancia medioambiental de un efluente complejo. Son normalmente más rápidos y económicos que una caracterización química extensa, y por consiguiente simplifican la reglamentación. Cubren una gama de sustancias y producen resultados que pueden interpretarse de forma bastante fácil. Además, permiten extraer consecuencias sobre la eficacia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la eliminación de sustancias tóxicas.

La elección de métodos de bioensayo y la elección de un diseño experimental depende de la aplicación, es decir, de si los resultados van a usarse para evaluación de riesgos, monitorización o cumplimiento. Los métodos de bioensayo para distintas aplicaciones tienen distintos requisitos.

Hay mucha experiencia de mediciones de toxicidad aguda, y hay dos procedimientos que se utilizan comúnmente para la evaluación de datos de toxicidad:

- Enfoque de  $EC_x/LC_x$  mediante análisis estadístico de datos en el que se requieren al menos cinco pares de datos de concentración / respuesta entre 0 y 100 %.
- El enfoque de LID (Dilución Inefectiva Mínima), que realiza la dilución de la corriente original de agua residual hasta que no se observan efectos, es decir, equivalente a 1/NOEC. No requiere relación de concentración / respuesta, por lo que todo el procedimiento de ensayo es más simple, aunque no se dispone de evaluación estadística y de límites de confianza.

La Evaluación Global de Efluentes (WEA) proporciona información sobre efluentes usando una serie de métodos químicos, físicos y/o biológicos para examinar su potencial de efectos biológicos. La metodología de la WEA intenta determinar los posibles adversos de efluentes, y utiliza básicamente los mismos parámetros de efectos que se utilizan en un enfoque orientado a las sustancias:

- Toxicidad aguda
- Mutagenicidad o (preferiblemente) genotoxicidad
- Toxicidad crónica
- Bioacumulación
- Persistencia, o (bio)degradabilidad.

Los compuestos químicos que son persistentes (P), tóxicos (T) o susceptibles de bioacumulación (B) son de especial preocupación para el entorno acuático. En enfoque orientado a sustancias químicas se centra en medir sustancias peligrosas que han sido seleccionadas y priorizadas según el criterio P-T-B. Un programa de WEA bien diseñado puede ofrecer a la gestión ambiental medidas integradas con respecto a efluentes complejos. Las ventajas de utilizar parámetros de efecto biológico son:

- La WEA considera todos los compuestos de las aguas residuales independientemente de su origen y detectabilidad por análisis químico. Los compuestos no tienen que ser necesariamente identificados. También se evalúan los subproductos y metabolitos.
- Los efectos tóxicos sobre organismos acuáticos se muestran directamente; también se tienen en consideración los efectos combinados.
- Las fuentes de efluentes peligrosos (pasos de producción o puntos calientes) dentro de las zonas industriales pueden ser identificados en muchos casos (rastreo).
- El esfuerzo requerido para realizar ensayos en la WEA es comparable con un análisis completo de sustancias individuales en un efluente complejo.

Las ventajas arriba indicadas son más o menos científicas, pero la WEA puede también apoyar prácticas de producción cotidianas:

- La gestión ambiental puede utilizar una combinación de medidas directas e indirectas de un rango de efectos potenciales, particularmente cuando los efluentes contienen sustancias que son mal comprendidas con respecto a su persistencia, bioacumulación y toxicidad.

- Mientras que los resultados de toxicidad pueden aplicarse de inmediato; por ejemplo, en cálculos de dilución, la bioacumulación y la persistencia de un efluente no son indicativas en sí mismas, sino que más bien hacen referencia a una evaluación de una exposición crónica.
- Ofrece información sobre riesgos potenciales para el medio ambiente, facilitando información proactiva a empresas y autoridades.
- Con técnicas específicas, puede usarse para identificar componentes peligrosos en el efluente y ayudar a las empresas a reducir la descarga de tales componentes.

La aplicación de la WEA plantea retos a la comunidad científica. Entre los mismos se incluyen:

- Una atención continua sobre el componente de toxicidad de P-T-B, en combinación con una falta de acuerdo sobre ensayos estandarizados de bioacumulación y persistencia.
- La WEA en sí generalmente no tiene en consideración la protección del sedimento y las vías de exposición de la cadena alimentaria, que no obstante pueden examinarse en un proceso más amplio de evaluación del riesgo ecológico.
- Es importante comunicar los resultados de los ensayos de WEA en el contexto de muestreo de efluentes temporal y espacial, métodos de ensayo aplicados, suposiciones realizadas y análisis estadísticos aplicados a los datos. Se requiere un mayor acuerdo y estandarización internacional sobre estos aspectos.

Generalmente, la WEA puede utilizarse como instrumento dentro de un SGA para dar información detallada sobre las características contaminantes de un efluente. Como se detalla en la Sección 2.1.1, es virtualmente imposible cuantificar las emisiones de cada contaminante presente en una corriente de efluentes. No obstante, un programa de WEA bien diseñado puede proporcionar a las empresas medidas integradas de calidad de efluentes. La WEA puede ser una de las medidas utilizadas en un registro de corrientes de efluentes según se describe en la Sección 2.2.1.2.

Entre las posibles aplicaciones de la WEA se incluyen:

- **Regulaciones o directrices sobre toxicidad de efluentes**

Algunas jurisdicciones establecen criterios numéricos de toxicidad en los permisos de descargas, mientras otros usan datos de toxicidad como instrumento de planificación y evaluación. El establecimiento de criterios de toxicidad asegura una evaluación consistente de efluentes: Las acciones ejecutivas o de gestión sólo se adoptan cuando el efluente incumple repetidamente los criterios de toxicidad. Alternativamente, enfoques menos formales del uso de datos de toxicidad pueden reducir las incertidumbres acerca de los riesgos de la descarga de efluentes, complementando los datos convencionales sobre efluentes químicos. Además de los datos de toxicidad, las evaluaciones de persistencia y bioacumulación pueden usarse del mismo modo.<sup>1</sup>

- **Clasificación del riesgo medioambiental de descargas a un sistema acuático**

La WEA puede usarse para evaluar los riesgos relativos planteados por múltiples fuentes de descargas, con objeto de priorizar la atención donde se requiere.

- **Evaluaciones de identificación / reducción de toxicidad (TIE/TRE)**

Las evaluaciones TIE / TRE se utilizan para determinar por qué un efluente es tóxico y qué puede hacerse para reducir esa toxicidad a un nivel aceptable (ver <http://www.setac.org/wettre.html>). La TRE puede definirse como un estudio específico de un complejo realizado según un procedimiento por pasos<sup>2</sup> diseñado para:

- Identificar el agente que causa la toxicidad del efluente
- Aislar la fuente de toxicidad
- Evaluar la eficacia de las opciones de control de toxicidad y
- Confirmar la reducción en la toxicidad del efluente.

La TIE se define como un conjunto de procedimientos que identifican el agente específico responsable de la toxicidad de efluentes (y que puede ser un subconjunto de instrumento utilizados en la TRE). La reducción de la toxicidad a un nivel aceptable puede conseguirse a través de la identificación y control de

---

1 Enfoques descritos en: de Maagd, R.G.-J. 2000. Bioaccumulation tests applied in whole effluent toxicity testing. *Env. Toxicol. & Chem.* 19(1): 25-35.

2 USEPA. 1991. Technical support document for water quality based toxics control. Washington DC: Office of Water. EPA/505/2-90-001.

la fuente de la toxicidad o la identificación y aplicación de una estrategia de tratamiento que reduzca la toxicidad a un grado aceptable. Las evaluaciones TIE / TRE pueden ser desde muy simples a muy complejas, y proporcionan un proceso lógico para que las empresas puedan hacer frente a un problema de toxicidad significativo. La TRE puede guiar los esfuerzos de los técnicos de tratamiento, centrándose en la minimización de los costes de mejora de los efluentes. No obstante, este tipo de estudio debe ser realizado por personal experimentado con un buen apoyo de laboratorio (capacidad química y de toxicidad). Por convención, las evaluaciones TIE / TRE evalúan la “toxicidad”, pero los elementos de persistencia y bioacumulación podrían ser una adición al proceso (ej. PIE/PRE o BIE/PRE).

- **Priorización de medidas de tratamiento de residuos**

Las evaluaciones de identificación / reducción (arriba descritas) pueden usarse para predecir la eficacia de diversas medidas de tratamiento de residuos y clasificar su contribución a una reducción de los riesgos de los efluentes. Por ejemplo, los datos de los ensayos de toxicidad pueden dar una medida integrada de las mejoras propuestas en el tratamiento de residuos (ej. ensayo de toxicidad de efluentes de plantas piloto de tratamiento). Este tipo de información ayuda a los que deben tomar decisiones a obtener el máximo de valor para su inversión en el tratamiento de residuos (aguas residuales).

- **Determinación de la eficacia de las mejoras en el tratamiento**

Una vez una instalación ha actualizado su sistema de tratamiento de residuos (aguas residuales), los ensayos de toxicidad y otros pueden usarse para evaluar las mejoras en el tratamiento de residuos con el tiempo. Un estudio comparativo de la toxicidad de distintos efluentes mostró que las mejoras de tratamiento mediante enfoques convencionales no garantizan la ausencia de toxicidad aguda <sup>3</sup>.

- **Rastreo de los efectos observados en los medios receptores**

Si las condiciones medioambientales en el entorno receptor muestran impactos negativos, la WEA (a menudo a un rango de concentraciones correspondientes a la dilución en el entorno receptor) pueden usarse para intentar establecer su causa y efecto. Por ejemplo, la hipótesis de que una mala calidad de la comunidad béntica ha sido causada por una descarga de efluentes puede comprobarse mediante un WEA cuidadosamente diseñado. Además, los métodos de evaluación de efluentes pueden usarse para evaluar la calidad del entorno receptor, permitiendo una comparación directa entre ambos.

- **Evaluación de riesgos específicos del complejo**

El riesgo medioambiental planteado por un efluente podría predecirse o evaluarse mediante un enfoque de evaluación de riesgo, en el que uno de los métodos probables de evaluar los efectos biológicos sería la WEA<sup>4</sup>. Sería importante intentar la validación en campo de los efectos biológicos, combinando los datos de la WEA con los efectos biológicos medidos en las comunidades acuáticas <sup>5</sup>.

Como se ha demostrado en los ejemplos anteriores, la WEA puede usarse para apoyar las decisiones sobre MTD en una serie de formas prácticas. Cada jurisdicción puede decidir qué combinación de aplicaciones se adapta a sus políticas y prácticas de control de efluentes. Tanto si se basa estrictamente en las emisiones como si se combina con un enfoque basado en la calidad del agua, la WEA refuerza la mayoría de enfoques de gestión de descargas de efluentes.

La WEA se utiliza ampliamente, tanto dentro como fuera de la UE. Una de las principales diferencias entre los enfoques utilizados por cada país la combinación y tipos de ensayos que se utilizan (toxicidad / genotoxicidad, persistencia y/o bioacumulación). En la UE, la aplicación de la WEA en el contexto de reglamentación es amplio en la etapa de investigación y desarrollo, pero los ejemplos siguientes presentan una serie de usos o enfoques para la WEA:

- Alemania utiliza rutinariamente estándares de toxicidad y genotoxicidad como estándares ecotoxicológicos para efluentes de distintos sectores industriales [cww/tm/130], y también existe un programa de investigación y desarrollo de WEA (ej. ensayo de desarrollo de huevos de peces).
- Durante los últimos seis años, Irlanda ha establecido valores límite de emisiones obligatorios en términos de Unidades Tóxicas (UT) para efluentes descargados en aguas de industrias con Control Integrado

<sup>3</sup> Tonkes, M., P.J. F. de Graaf and J. Graansma- 1999. Assessment of complex industrial effluents in the Netherlands using a whole effluent toxicity (or wet) approach. *Water Science and Technology* 39 (10-11): 55.

<sup>4</sup> Chapman, P.M. 2000. Whole effluent toxicity testing- usefulness, level of protection, and risk assessment. *Env. Toxicol. & Chem.* 19(1):3-13

<sup>5</sup> Grothe, D.R., K.L. Dickson and D.K. Reed-Judkins (eds). 1996. Whole effluent toxicity testing: an evaluation of methods and prediction of receiving system impacts. Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Pensacola. FL. USA.

de Contaminación. Los límites en UT van entre 5 y 10, y están estipulados en los documentos de guía BATNEEC publicados [cww/tm/95] para los diversos sectores. Además, las industrias que descargan a una planta de tratamiento de aguas residuales municipal pueden también tener la obligación de realizar una combinación de ensayos de toxicidad y respirometría.

- En Suecia, la caracterización de efluentes (WEA inclusive) se utiliza para evaluar si el tratamiento de efluentes para una operación particular es adecuada. Esto se realiza normalmente mediante un chequeo en las instalaciones de producción nuevas (instalaciones dentro del proceso y de final de línea) que han estado en producción durante un cierto tiempo como parte del proceso de obtención de permisos. No obstante, este enfoque puede usarse en cualquier momento para evaluar la necesidad de instalaciones adicionales.
- El Reino Unido está implantando actualmente la Evaluación de Toxicidad Directa (DTA) para descargas de efluentes <sup>6</sup>, tras haber realizado extensas labores de investigación y desarrollo y un programa de demostración.
- Holanda está en las etapas finales de una fase investigación y desarrollo, que ponderará por igual la (geno)toxicidad, la persistencia y la bioacumulación. La WEA se aplicará en un contexto reglamentario a partir de 2005.

A una escala europea más amplia, la OSPAR (Convención de Oslo-París para la Protección del Entorno Marino del Atlántico Noreste) adoptó el aspecto de la evaluación ecotoxicológica del agua residual como medio de evaluar la calidad del efluente a través del Grupo de Fuentes Puntuales y Difusas (PDS) en 1994. En Noviembre de 1999, la Agencia Medioambiental Federal alemana presentó el borrador de un documento de base sobre el uso de la WEA en la evaluación de aguas residuales [cww/tm/130]. En 1999 se formó un Grupo Experto Intersesional (GEI) específicamente para desarrollar la WEA en el contexto de la Estrategia de Sustancias Peligrosas de la OSPAR. (OSPAR, 2000, <http://www.ospar.org>). El GEI-OSPAR examinó el uso de la WEA para distintas industrias (hasta la fecha, las industrias de fabricación de pasta y papel y farmacéutica). Además, el GEI ha iniciado una revisión de los métodos de ensayo de persistencia y bioacumulación, así como de genotoxicidad y disrupción endocrina (ambas en preparación).

En conclusión, la WEA es un instrumento útil para la prevención y control integrados de la contaminación, pero complementará los controles tradicionales basados en compuestos químicos, en lugar de sustituirlos. La experiencia muestra que cuando se aplican medidas de P-T-B dentro de un programa de WEA bien diseñado, producen reducciones de emisiones de sustancias peligrosas en las aguas residuales. La clave es diseñar la WEA para complementar otras medidas de control dentro de un sistema de gestión ambiental eficaz.

### 2.2.1.2.2. Reducción del consumo de agua y de la descarga de aguas residuales

Debido a su importancia creciente en muchas zonas de la Unión Europea, es apropiado dedicar un párrafo adicional a la conservación del agua (es decir, a la reducción del consumo de agua y de la producción de aguas residuales), y/a a su reutilización como instrumento de gestión del agua. La conservación del agua, por ejemplo, ayuda a menudo a reducir el impacto negativo de la transferencia del medio gaseoso al acuoso. Probablemente no es una exageración afirmar que el grado de reutilización y reciclaje del agua está limitado por la creatividad y la buena disposición de las personas involucradas, más que por barreras técnicas. No obstante, depende de las circunstancias locales. Los elementos a considerar son, por ejemplo:

- Desarrollar estrategias para minimizar el consumo de agua (fresca) y la producción de aguas residuales en los procesos de producción [cww/tm/67d], como:
  - Modificación del proceso, que puede producir una reducción del agua requerida, por ejemplo, el uso de refrigeración por aire en lugar de refrigeración por agua.
  - Reciclaje directo de aguas residuales, es decir, reutilización de aguas residuales ligeramente contaminadas en otros procesos no influenciados por estos contaminantes, lo que produce una reducción del consumo de agua fresca y de las aguas residuales sin cambiar la carga contaminante.
  - Pretratamiento del agua residual y reutilización subsiguiente (en los mismos o en otros procesos), que produce una reducción del consumo de agua fresca, de las aguas residuales y de la carga de contaminantes;

---

<sup>6</sup> Boumphrey, R., Tinsley, D., Forrow, D. and R. Moxon. 1999. Whole Effluent Assessment in the UK. OSPAR Workshop on Whole Effluent Assessment, Lelystad, Netherlands, 28-29 October, 1999.

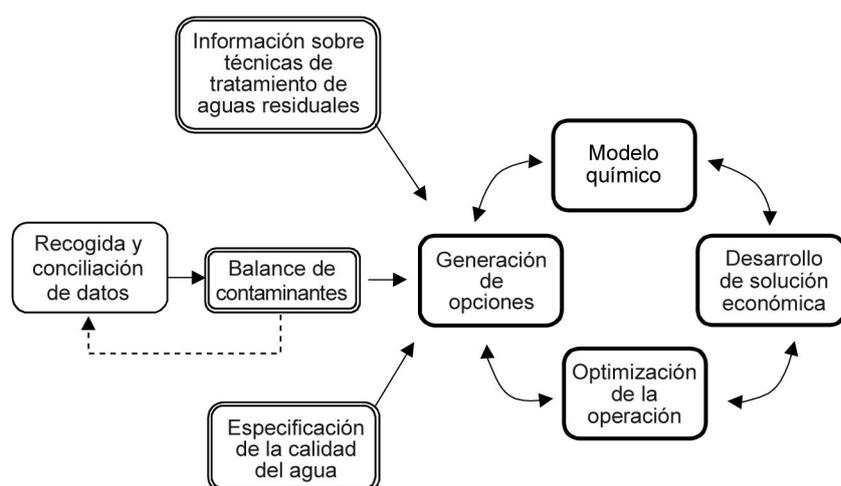
- Revisar las técnicas de eliminación de gases residuales (ej. lavadores húmedos, lavadores biológicos, refrigeradores con refrigeración por agua, ciclones húmedos, precipitadores electrostáticos húmedos) en cuanto a su consumo de agua y, si es posible, evitarlas, cuando la disponibilidad de agua fresca sea un factor limitante o cuando el agua receptora sea sensible a perturbaciones.

El procedimiento para la reducción del consumo de agua y de las aguas residuales sigue generalmente el esquema ilustrado en la Figura 2.4 [cww/tm/67d].

Como primer paso, se realiza un balance de agua y de los principales contaminantes que puedan impedir su reutilización directa. Si la recogida de datos para el registro de aguas residuales no ha proporcionado datos consistentes, será necesaria una conciliación subsiguiente de datos, combinada con una medición elaborada adicional.

Sobre la base de balances de masa estacionarios, es posible desarrollar diversas opciones para minimizar el consumo de agua y evaluar su operatividad. Para minimizar la cantidad de agua (residual), puede ser útil recoger y mezclar corrientes de distintos procesos de producción y reciclar la mezcla completa, aumentando el potencial de precipitación y corrosión. Las herramientas para administrar estos desarrollos de procesos se describen en la 2.2.1.3.

No obstante, no debe pasarse por alto que el enriquecimiento de contaminantes que no pueden eliminarse mediante técnicas internas de eliminación o purificación pueden confinar la reutilización del agua en ciclos de agua.



**Figura 2.4.**  
*Procedimiento general para reducir el consumo de agua y la generación de aguas residuales*

### 2.2.1.2.3. Cuantificación de las emisiones de gases

Las emisiones de gases residuales de algunas fuentes pueden tener distintas causas, y por consiguiente la emisión derivada de cada causa deberá ser evaluada separadamente para cuantificar las emisiones agregadas a través de esta fuente. Además, la reducción de fuentes significará concentrarse en la causa de las emisiones en lugar de la fuente a través de la que se emiten.

#### Cuantificación de emisiones por fuente

Las emisiones pueden cuantificarse por fuentes en una forma adoptada en la Directiva del Consejo 1999/13/CE (Directiva sobre COV) [cww/tm/88].

Para preparar un inventario de gases residuales, es necesario cuantificar las emisiones de todas las fuentes potenciales. Esto puede hacerse por estimación, cálculo o medición según el tipo de emisión y su importancia relativa con respecto a las emisiones totales de gases residuales. Algunas emisiones se estiman mejor

por fuente de emisión, otras por la causa de las emisiones. En particular las emisiones no capturadas son muy difíciles de medir. Requieren cuantificación por causa contributiva.

Los siguientes ejemplos se ofrecen a modo de ilustración:

- La emisión de producto (normalmente COV) puede estimarse cuando se conoce el contenido gaseoso del producto. La cantidad de disolvente contenido en el producto, por ejemplo, está bien definida, y las cantidades vendidas o recuperadas también se conocen.
- Si el residuo incluye sustancias gaseosas, su contenido debe medirse o definirse de otro modo para calcular la cantidad que podría emitirse. Esto también dependerá del método usado para el desecho del residuo.
- Las emisiones conducidas a la atmósfera pueden cuantificarse midiendo adecuadamente el caudal de aire y la concentración de gases residuales (preferiblemente en distintas etapas del proceso). No obstante, esta medición puede ser relativamente cara de hacer y puede verse complicada por dificultades de acceso, presencia de vapor de agua o partículas, u otras circunstancias, y puede representar sólo una instantánea de una situación que con frecuencia varía con el tiempo. Por consiguiente, normalmente se prefiere un método de cálculo, cuando la medición no es factible. Esta posibilidad depende de la causa de la emisión. Por ejemplo, si se produce una emisión conducida por la evaporación de un disolvente en una operación de secado (emisión de COV), normalmente es más fácil calcular la cantidad de disolvente evaporado midiendo el contenido de disolvente en el producto antes del secado, mientras que los contaminantes contenidos en los gases de escape de combustión (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, etc.) o los contaminantes peligrosos requieren medición en chimenea.
- Las cantidades no eliminadas en un sistema de eliminación pueden calcularse si se conocen las cantidades enviadas al sistema de eliminación y la eficacia de eliminación.
- Las emisiones no capturadas son por naturaleza difíciles y a menudo caras de medir, y suelen tener que evaluarse considerando las causas de las emisiones y los métodos de evaluación relacionados detallados a continuación. De todos modos, antes de abandonar la posibilidad de medición, debe realizarse una evaluación de su viabilidad.

### Cuantificación de emisiones por causa

Una cuantificación de las emisiones basada en su causa puede muchas veces ser la única solución práctica, particularmente para emisiones sin capturar, aunque a menudo también para emisiones conducidas. Existen varios métodos para realizar estas mediciones. Todos los métodos de cálculo proporcionan estimaciones, que en algunos casos indican sólo el orden de magnitud.

Son ejemplos:

- La cuantificación de las emisiones de procesos debe estar basada en una comprensión detallada del proceso que tiene lugar. En muchos casos, esto proporciona una evaluación bastante precisa de la cantidad emitida, que en ocasiones debe ser confirmada por mediciones. Al realizar estos cálculos y mediciones, debe tenerse cuidado en considerar la variabilidad que puede ser inherente al proceso. Puede ser una variabilidad con el tiempo –en procesos discontinuos, la cantidad emitida varía típicamente a medida que progresa el proceso discontinuo– o una variabilidad con la calidad –distintas calidades de productos emiten distintas cantidades. Los cálculos deben reflejar estas variabilidades, y cuando se realizan mediciones, las condiciones operativas durante cada medición deben registrarse cuidadosamente, y también deben hacerse mediciones en número suficiente para tener en cuenta el rango completo de variabilidad. Un balance de materia anual debe tener en cuenta la producción anual real para reflejar de forma adecuada el efecto de variabilidad de la calidad.
- Los cálculos de emisiones de los tanques de almacenaje pueden basarse en la metodología desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) [cww/tm/89]. Los cálculos son elaborados y requieren conocimiento de algunos datos meteorológicos que pueden obtenerse del instituto meteorológico local. Pueden generarse emisiones de almacenaje considerables de tanques atmosféricos por encima del suelo. No obstante, las pérdidas por respiración de tanques subterráneos o tanques con una presión ajustada por encima de la atmosférica se reducen significativamente. Las pérdidas de tra-

bajo dependen del número de rotaciones por año (es decir, cuántas veces se ha llenado / vaciado el volumen del tanque durante el año), y son bajas para una rotación baja. Si se aplica equilibrado de vapores durante el llenado de tanques, las pérdidas de trabajo se eliminan. Por consiguiente, en muchas instalaciones las emisiones de almacenaje son bajas en comparación con las otras emisiones. Es aconsejable evaluar las pérdidas por almacenaje en base al balance de materia antes de embarcarse en cálculos detallados. Si se requieren cálculos detallados, se recomienda encarecidamente utilizar el programa informático TANKS [cww/tm/90], desarrollado por la USEPA, que es una versión computerizada del método de cálculo de la USEPA.

- Las emisiones de manejo pueden calcularse suponiendo un contenido de vapor del aire de escape del contenedor que se está cargando, correspondiente a la presión de vapor del producto que se está cargando a la temperatura de carga, multiplicado por un factor de saturación. El factor de saturación depende del método de carga, y representa el grado de saturación alcanzado en promedio en el espacio del vapor durante la carga. Los factores de saturación para camiones cisterna o BLC son [cww/tm/72]:
  - Carga sumergida en un tanque de carga limpio: 0,5
  - Carga sumergida en un tanque de carga húmedo (servicio especial): 0.6
  - Carga con salpicaduras: 1,45
  - Un factor de más de 1 representa sobresaturación, causada por gotitas de líquido expulsadas del vapor).
- Los cálculos de emisiones de fugas de los equipos se basan en métodos desarrollados por la USEPA y van desde simples (basados en recuentos de puntos de fuga y emisiones medias por punto) hasta complejos (basados en correlaciones entre una concentración en ppm medida en la interfase de fuga y un índice de fuga específico del tipo de equipo considerado). Se proporciona información adicional en el Protocolo USEPA-453 [cww/tm/152], que también se detalla dentro del proyecto IMPEL “Emisiones Difusas de COV” [cww/tm/154]. Estos métodos de cálculo proporcionan estimaciones aproximadas de las emisiones reales, y normalmente un método de cálculo más sofisticado proporcionará resultados más bajos. Los cálculos basados en recuentos de equipos son los únicos que no requieren mediciones con un analizador de vapores orgánicos en cada punto de fuga potencial. Si estos cálculos proporcionan un resultado satisfactorio para la finalidad, no se requerirá análisis ulterior. Si las emisiones por fugas de los equipos se hacen significativas, deberá aplicarse un programa de Monitorización y Mantenimiento [también denominado de Detección y Reparación de fugas (LDAR)], que comporta la medición de cada punto de fuga potencial y la posibilidad de reparar las fugas que se detectan. Este trabajo requiere habilidad en la realización de las mediciones y su registro en una base de datos, y por consiguiente es realizado por contratistas especializados.
- Las emisiones no rutinarias causadas por las operaciones de arranque, parada y mantenimiento deben ser tenidas en cuenta. Dependen fuertemente de la metodología operativa. No existen métodos aceptados universalmente para la estimación de estas emisiones. No obstante, pueden llegar a ser significativas en operaciones discontinuas con apertura / cierre frecuente de recipientes. En estos casos, el mejor enfoque práctico es programar una campaña de mediciones para cuantificar las emisiones vinculadas a cada paso operativo.
- No deben ocurrir emisiones accidentales. No obstante, dado que ocurren, la pérdida de disolvente relacionada debe reflejarse en un balance de materia. Se recomienda que estos incidentes se registren y se mantenga un archivo de la cantidad estimada emitida durante cada episodio.

### 2.2.1.3. Análisis de flujo de energía y materia (EMFA)

El EMFA se compone de toda una familia instrumentos para optimizar el consumo de energía, materias primas, agua y la descarga de efluentes, siguiendo de forma sistemática las corrientes internas de energía y materia en los procesos de producción. Como tal, es parte o extensión de un inventario de corrientes, utilizando los datos obtenidos para extraer las conclusiones necesarias. Para apoyar esta tarea hay disponible software informático de distintos grados de complejidad. El procedimiento normal del EMFA es:

- Comenzar con un análisis de entradas – salidas del proceso
- Repetir iterativamente el proceso para identificar el potencial de mejora mediante la comparación cuantitativa de datos de entrada y salida con valores objetivo.
- Simulación de distintos escenarios (diseño de proceso) con evaluación individual de su impacto ambiental.

- Identificación de la “mejor” solución según los objetivos fijados (rentabilidad, prevención de residuos, ahorro de recursos, etc.).

El objetivo para la aplicación de un instrumento de EMFA es operar los procesos de forma más eficiente y reducir su impacto sobre el entorno (ej. reducir la descarga de agua y/o el consumo de agua), con eventual ahorro de costes.

En el Apéndice 7.2 se detalla un ejemplo de un enfoque de EMFA.

### 2.2.2. Instrumentos de gestión operativa

Mientras que los instrumentos de gestión de inventarios proporcionan toda la información necesaria sin la cual no cabe imaginar decisiones sobre una prevención, minimización y/o tratamiento eficaz de residuos, los instrumentos de gestión operativa proporcionan la base para pasar a la acción estas decisiones.

#### 2.2.2.1. Monitorización

La monitorización constituye un puente entre los instrumentos de inventario y operativos, pero está también conectada con instrumentos estratégicos y de seguridad. La mayor parte de la información proporcionada por los instrumentos de inventario, como los registros de corrientes, se recoge con ayuda de sistemas y programas de monitorización. Probablemente el aspecto más importante es controlar el funcionamiento adecuado de los procesos de producción y tratamiento, para comprobar si se cumplen los objetivos medioambientales establecidos y poder identificar y ayudar a investigar los accidentes (incidentes).

“No se puede gestionar lo que no se puede medir” . Por consiguiente, para medir la eficacia de un SGA, se requieren datos reales sobre los efectos precisos de las actividades del complejo industrial sobre el entorno, así como sobre las personas. Por lo tanto, es necesario realizar un programa planificado de muestreo y monitorización regular. Los parámetros a monitorizar deben incluir [cww/tm/132]:

- Fuentes puntuales, emisiones difusas y fugitivas a la atmósfera, al agua o al alcantarillado.
- Residuos, particularmente los peligrosos
- Contaminación del suelo, agua o atmósfera
- Consumo de agua, combustibles, energía, oxígeno, nitrógeno y otros gases (ej. argón).
- Emisión de energía térmica, ruido, olor y polvo.
- Efectos sobre partes específicas del entorno y ecosistemas (ver. Ej. Sección 2.2.1.2.1)
- Accidentes y cuasi accidentes en el complejo
- Lesiones del personal
- Accidentes de transporte
- Quejas de los residentes en la comunidad.

No obstante, la monitorización no se limita a medición analítica. También incluye mantenimiento regular, así como inspecciones visuales y de seguridad.

En paralelo a este documento, se está elaborando un BREF sobre Monitorización, al que se hace referencia para más información. La monitorización en el contexto de aguas y gases residuales se trata con más detalle en el Capítulo 3; los estándares para parámetros analíticos se relacionan en el Anexo 7.4

#### 2.2.2.2. Establecimiento y revisión regular de objetivos o programas internos

Un SGA debe establecer un programa medioambiental en el que se establezcan objetivos globales a largo plazo, así como objetivos internos específicos para el complejo. Los objetivos globales y a largo plazo son parte de la política de la compañía y por lo tanto no se incluyen en este BREF, aunque se indica que una política de este tipo es un elemento necesario.

Los parámetros para los que se fijan objetivos internos deben seleccionarse según su importancia. Con el fin de limitar el número de estos parámetros, debe tenerse en consideración la finalidad de fijar objetivos, es decir, debe asegurarse una ejecución óptima de las operaciones de producción y eliminación, minimizando con ello el impacto sobre el entorno en su conjunto. Normalmente no es necesario fijar niveles objetivo para

cada uno de los parámetros involucrados, sino que pueden usarse parámetros indirectos para describir las emisiones. Los niveles objetivo medibles deben fijarse de tal modo que puedan alcanzarse fácilmente el nivel de permiso en la desembocadura final y las condiciones específicas locales.

Hay varias clases de objetivos, unos de indican como estándares generales, otros como estándares específicos para un complejo. Son ejemplos de estándares generales:

- Los requisitos de los Objetivos de Calidad Ambiental (EQO) o Estándares de Calidad Ambiental (EQS), así como estándares tecnológicos y Normas de Correcta Fabricación (Good Manufacturing Practice).
- Los requisitos generales de Calidad en Cuencas Fluviales (“Directiva Marco del Agua” o reglamentos nacionales sobre calidad del agua).
- Los requisitos generales de emisiones a la atmósfera, programas internacionales o nacionales.
- Los requisitos de estándares internos de la empresa, publicados para todos sus centros de producción, independientemente de las demandas de los permisos locales.

Son ejemplos de estándares específicos para un complejo:

- Requisitos de condiciones de permiso (ej. asegurando un cumplimiento continuo con los valores límites de emisiones).
- Limitaciones específicas sobre el contenido ecotóxico de cualquier desagüe final de acuerdo con los límites fijados para el medio receptor (agua superficial, aire); por ejemplo, en Alemania los límites finales para la descarga final a un cuerpo acuático son <sup>7</sup>:
  - $T_F = 2$  (toxicidad para peces)
  - $T_D = 4$  (toxicidad para dafnias)
  - $T_A = 8$  (toxicidad para algas)
  - $T_L = 16$  (toxicidad para bacterias luminiscentes)
  - $T_M = 1,5$  (mutagenicidad).

Como objetivo a largo plazo para el futuro, la industria química alemana (según la declaración VCI de mayo de 2000 [cww/tm/166]) intenta reducir ulteriormente el impacto tóxico de sus descargas de aguas residuales, teniendo en consideración:

- Toxicidad aguda para peces, dafnias y bacterias
- Toxicidad crónica para algas
- Mutagenicidad.

Por último, persiguen conseguir que sus efluentes a los cuerpos acuáticos receptores no excedan factores de dilución de  $T_x = 2$  ( $T_M = 1,5$ ); las toxicidades causadas por concentraciones de sales no se incluyen.

Cuando se fijan objetivos, debe trazarse también un plan para las acciones que deben realizarse cuando se excede un nivel objetivo de una o más corrientes tributarias, o del desagüe final, durante un cierto tiempo. Estas acciones deben estar claramente definidas, debiendo asignarse las responsabilidades y la competencia de las mismas.

Son ejemplos de objetivos internos:

- Reducción continua de cargas contaminantes
- Cumplimiento con requisitos de permisos
- Reducción de efectos ecotóxicos (ver Sección 2.2.1.2.1).

El papel de la monitorización en la fijación de objetivos se menciona en la Sección 2.2.2.1.

El proceso dinámico de la fijación de objetivos, dado que la industria química y las condiciones en las que opera están sujetas a desarrollo continuo y cambios constantes, implica una revisión regular, independientemente de si se han introducido nuevos requisitos legales. Por lo tanto, debe establecerse un programa para ajustarse a dichos cambios. El objetivo de esta revisión regular es la mejora continua del comporta-

---

<sup>7</sup> Las unidades de toxicidad (valores T o a veces valores G) se expresan como “factores de dilución”  $T_x = 2$  significa que la corriente de agua residual debe diluirse a la mitad de su concentración original para que los organismos ensayados sobrevivan. Ver también Sección 2.2.1.2.1.

miento medioambiental de un complejo de producción química en su conjunto. Para conseguir este objetivo permanente, debe establecerse un programa de reducción que contenga los siguientes elementos:

- Una evaluación periódica de las prácticas de gestión ambiental asociadas con operaciones y equipos, que tenga en cuenta:
  - Impactos ambientales
  - Cambios en la legislación
  - Elementos de preocupación pública
  - Aplicación de mejoras constantes;
- Incentivos para la aplicaciones de acciones rentables y reconocimiento de contribuciones significativas a los objetivos de reducción de emisiones, como:
  - Asignación de los costes de tratamiento de aguas y gases residuales, introduciendo un sistema de precios, es decir, un principio interno de que “Quien Contamina Paga”, para la descarga de las unidades de producción individuales, a las que se carga internamente los costes de las instalaciones de tratamiento de acuerdo con su aportación a la contaminación; se trata de un buen incentivo para minimizar las emisiones y con ello reducir los costes de tratamiento compartidos de la unidad de producción.
  - Premios internos (pago de primas) por las propuestas de mejora operativa del personal.
  - Competición interna para reducir las perturbaciones de procesos y los accidentes;
- Inclusión de objetivos para la prevención de emisiones en el diseño de instalaciones y procesos nuevos o modificados, como:
  - Introducción del reciclaje de compuestos o productos de partida, cuando se planeen modificaciones de la instalación.
  - Introducción de medidas de conservación del agua, en las mismas condiciones anteriores;
- Mantenimiento preventivo y tecnología de control apropiada para minimizar emisiones y pérdidas;
- Aplicación de controles y procedimientos técnicos y operativos, con criterios operativos, para mejorar la prevención, la pronta detección y la contención de vertidos / liberaciones, mediante:
  - Vigilancia y monitorización, o
  - Medidas organizativas, utilizando al personal, como rondas regulares de control, o instalando sistemas de contención con un volumen de recogida suficiente;
- Investigación y evaluación de vertidos / liberaciones que puedan haberse producido, a fin de determinar acciones correctivas y evitar su repetición;
- Comunicación con los empleados y el público en general en relación con información sobre emisiones, el progreso en conseguir reducciones y planes futuros, que deben incluir un diálogo estructurado sobre las preocupaciones e ideas tanto de los empleados como del público en general.

Este estudio puede llevar a decisiones de modificar o incluso adaptar objetivos, programas o políticas ambientales.

### 2.2.2.3. Elección de opciones de tratamiento

Con la información necesaria relativa a las emisiones de un complejo químico y los objetivos y demandas ambientales definidos, el siguiente paso es la selección de opciones de control apropiadas. Normalmente, el objetivo es encontrar un método de tratamiento rentable que ofrezca un comportamiento ambiental óptimo. La elección apropiada requiere normalmente estudios de tratabilidad y/o estudios piloto.

Las opciones de control disponibles se evalúan y seleccionan generalmente según:

- Las características de la corriente emitida, como:
  - Caudal
  - Concentración y propiedades de los contaminantes
  - Presencia de impurezas
  - Temperatura
  - Presión
- La cantidad de la parte que necesita tratamiento.
- Los objetivos a conseguir, siendo la primera opción la recuperación de los contaminantes.
- Los requisitos legales.
- Las opciones de control que existen para un caso dado.

Este proceso de evaluación y selección – en el que los datos necesarios se obtienen por inventario de corrientes (ver Sección 2.2.1.2) – siempre produce conclusiones adicionales específicas del complejo que deben tenerse en cuenta; los factores claves varían de un complejo a otros, como:

- Ubicación de la planta
- Tamaño y configuración del complejo
- Comportamiento ambiental y económico actual de las instalaciones en cuestión, su edad, diseño y vida útil prevista.
- Potencial y grado de integración del proceso dentro de una instalación y entre instalaciones.
- Tipo y calidad del medio receptor.
- Impacto sobre el medio ambiente a consecuencia de una emisión real o prevista.
- Vida útil restante y comportamiento del equipo de eliminación de contaminación existente.
- Disponibilidad de recursos.
- Seguridad.
- Limitaciones y restricciones sobre una instalación impuestas por otras legislaciones
- Resultados del análisis de efectos sobre otros medios (consumo de agua, producción de residuos, consumo de energía).
- Costes de inversión y operativos.

Cuando hay involucradas instalaciones de tratamiento final o centrales, hay que considerar las opciones de reducción en origen. Debido a las consideraciones citadas, el sistema de tratamiento apropiado se seleccionará considerando las opciones de:

- Reducción en origen
- Sistema de recogida (desagüe)
- Métodos de tratamiento.

Los aspectos especiales de aguas residuales y gases residuales se tratan en las Secciones 2.2.2.3.1 y 2.2.2.3.2 respectivamente.

### 2.2.2.3.1. Selección del sistema de control de aguas residuales

La Figura 2.5 ilustra un esquema de decisión para encontrar el sistema apropiado de tratamiento para las corrientes individuales de aguas residuales [cww/tm/132]. Las líneas discontinuas simbolizan opciones alternativas.

Las siguientes cuestiones, que contienen los principales objetivos de la Directiva – prevención, minimización y control – deben plantearse para cada tipo de agua residual.

- ¿Puede reducirse o eliminarse la cantidad y el nivel de contaminación mediante medidas integradas en el proceso u otras?
- ¿Necesita tratamiento toda la corriente de agua residual, o sería útil un sistema de separación?
- ¿Es adecuada la corriente de aguas residuales para tratamiento biológico, o debe someterse a tratamiento previo descentralizado?

Como ejemplo de criterio para priorizar un examen más detallado de las corrientes de aguas residuales tributarias, en partes de Alemania se ha utilizado la presencia de carga de TOC recalitrante del orden de 20 – 50 kg/d. Otros parámetros relevantes en este contexto son metales pesados, compuestos orgánicos halogenados y toxicidad.

El procedimiento de selección sigue los pasos mencionados en la Sección 2.2.2.3:

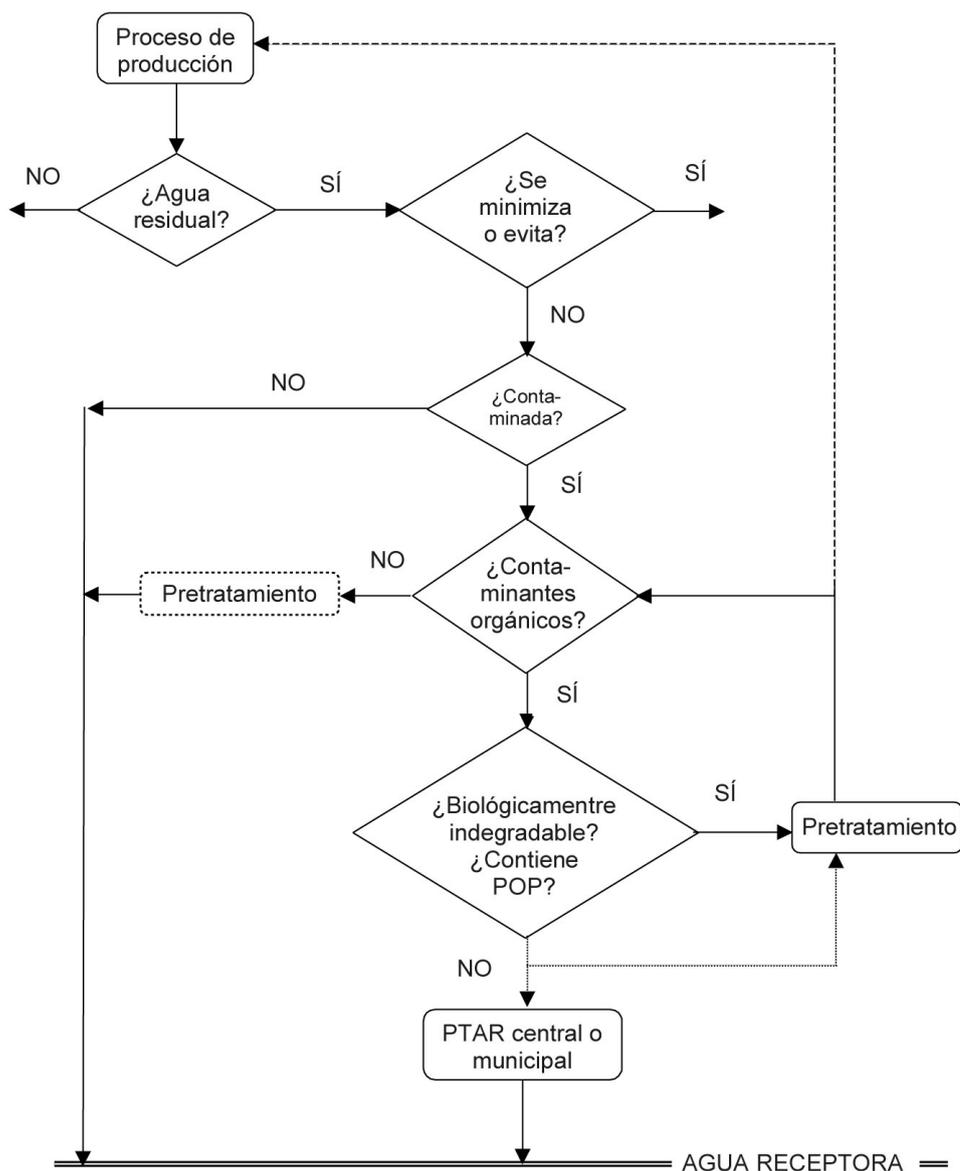


Figura 2.5. Diagrama de decisión para un sistema apropiado de control de aguas residuales

• **Reducción en origen**

Las opciones de reducción de aguas residuales en origen deben considerarse primero. En muchos casos, se derivarán de consideraciones de proceso descritas en el BREF vertical correspondiente. Las sugerencias para causas de contaminación frecuentes son:

El consumo de **agua de proceso** depende del proceso de fabricación. Su concentración de contaminantes depende de la solubilidad de la corriente de proceso en agua. Hay que tener en cuenta las siguientes sugerencias:

- Separación del agua de proceso del agua de lluvia y otros efluentes acuosos, para permitir su reutilización o reciclaje, así como para minimizar la cantidad de agua que requiere tratamiento, la instalación de un tejado sobre determinadas áreas de proceso, zonas de carga y descarga, etc. son opciones a considerar.
- Uso del agua de proceso en un modo de reciclaje, cuando sea viable económicamente, con un número máximo de reciclajes antes de su descarga.

- Evitar los sistemas de refrigeración de contacto directo cuando sea factible.
- Una revisión crítica de la necesidad de sistemas de lavado de agua o, cuando se utilicen, la investigación del potencial de regeneración y reutilización del agua (ver Sección 2.2.1.2.2).
- La minimización del caudal de agua para los sistemas de agua de enjuague y de sellado, que se necesitan frecuentemente por motivos de seguridad pero que no deben dejarse fluir sin control o restricción.
- La eliminación del aceite libre a un sistema de recogida de salpicaduras de aceite antes de su desecho a la alcantarilla.
- Una separación eficaz de agua / hidrocarburos en la medida de lo practicable en el equipo de proceso antes de la descarga del agua a la alcantarilla.
- Si es factible, el uso de un líquido de proceso en lugar de vapor en los dispositivos de venturi, o de una bomba de anillo líquido, preferiblemente utilizando un líquido de proceso como líquido de sellado, o de una bomba de vacío seco, para minimizar la contaminación generada por los dispositivos de vacío.
- En la medida de lo posible, la captura de la descarga de válvulas de seguridad, sangrados de aislantes de doble bloque o válvulas de doble sello, ya que no se recomienda descargarlas a zonas en las que se recoge agua de lluvia limpia.
- Recogida de efluentes de laboratorio a un tanque de salpicaduras.

**Las emisiones operativas no deseadas** al alcantarillado pueden evitarse normalmente mediante una mayor atención de los operarios. La instrumentación adicional o la recogida de salpicaduras suelen ser útiles para que los operarios puedan realizar su tarea con eficiencia. Asimismo, se recomiendan instalaciones de recogida de salpicaduras cuando se producen frecuentemente emisiones de hidrocarburos líquidos. Para reducir las emisiones operativas no deseadas, deben tenerse en cuenta las siguientes sugerencias:

- Tapar o taponar las ventilaciones y desagües cuando no se utilicen.
- Permitir la recogida de los enjuagues en el sistema de salpicaduras en lugar de enviarlos directamente a la alcantarilla, preferiblemente mediante sistemas de muestreo de circuito cerrado o válvulas de muestreo que no precisen enjuague (ej. válvulas de muestreo tipo ariete hidráulico), con las botellas de muestreo dimensionadas de modo que se evite un sobrellenado y la frecuencia de muestreo y las muestras se mantengan al mínimo requerido.
- Evitar el sobrellenado de recipientes o tanques mediante la instalación de un nivel adecuado de instrumentación o procedimientos adecuados.
- Minimizar el uso de mangueras.
- Considerar instalaciones para recoger los goteos de mangueras.
- Considerar la instalación de tejados sobre los casilleros de carga.
- Instalar bordillos para asegurar la contención de vertidos.
- Considerar instrumentación adecuada como protección contra el sobrellenado de camiones cisterna.
- Evitar la pérdida de producto durante la decantación con agua de fondos de tanques.
- Considerar la instalación de instrumentos fiables de detección de interfases.
- Considerar la limpieza por taco (diablo) de las líneas en lugar de enjuague y desagüe, cuando sea aplicable.
- Limpiar por aspiración los vertidos cuando sea posible en lugar de aplicar chorro hidráulico o de vapor para enviarlos a la alcantarilla.
- Hacer que las mangueras de agua funcionen sólo cuando estén atendidas, lo que es una buena práctica de gestión / fabricación.

No obstante, la conservación de agua mediante medidas integradas en el proceso y otras medidas produce corrientes de agua más concentradas, que pueden reciclarse de forma rentable o explotarse para mayores rendimientos de producción, o tratarse con mayor eficacia. Por ello, cualquier medida para reducir el consumo de agua puede conducir directamente a una reducción en la cantidad de contaminantes evacuados a través de la alcantarilla.

La **rotación y otras actividades de mantenimiento** suelen producir una considerable contaminación del agua. Su minimización requiere una planificación cuidadosa con bastante antelación, como:

- Definir un lugar específico de limpieza de equipos, provisto de instalaciones adecuadas para recuperar hidrocarburos y residuos sólidos, haciendo que sea el lugar obligatorio para limpieza de equipos siempre que sea posible (ej. limpieza del grupo intercambiador).
- Planear cuidadosamente el desagüe del equipo para evitar emisiones no deseadas a la alcantarilla.
- Evaluar detenidamente los requisitos y los métodos de limpieza del equipo.
- Definir una vía de desecho para todo el efluente de limpieza.

Las **emisiones derivadas de fallos del equipo** son por su naturaleza imprevisibles. El mantenimiento preventivo del equipo y la aplicación de un programa de monitorización son formas de asegurar que se reduzcan al mínimo, como por ejemplo:

- Evitar en la medida de lo posible los fallos de sellos de las bombas.
- Considerar la instalación de bombas sin sellos, monitorización de vibraciones o alarmas de fugas en los sellos.
- Detectar fugas en el agua de refrigeración derivadas de fallos de intercambiadores, comprobando periódicamente el contenido de hidrocarburos, el pH y la conductividad eléctrica del retorno de agua de refrigeración.
- Reparar las fugas detectadas con la mayor rapidez posible.
- Analizar frecuentemente los sistemas con fugas para definir el tipo más apropiado de equipos, empaquetaduras, guarniciones, etc.

La **contaminación de fondo de los sistemas de alcantarillados sucios** puede minimizarse mediante, por ejemplo:

- Comprobando periódicamente las cámaras de inspección de alcantarillas por si hay presencia, por ejemplo, de hidrocarburos libres, transfiriéndolos mediante una bomba de vacío, si es necesario, al sistema de salpicaduras.
- Limpieza de las cloacas sucias que puedan causar un nivel significativo de contaminación de fondo.

- **Selección de sistemas de drenaje** (ver Sección 2.2.2.4.1)

- **Instalación de capacidad intermedia**

La instalación de capacidad intermedia es beneficiosa para corrientes residuales particulares en plantas de producción, así como para corrientes de aguas residuales recogidas antes de que entren en la planta de tratamiento de aguas residuales central, en caso de fallo operativo. Para más detalles, ver Sección 3.3.3.

- **Métodos de tratamiento**

Las opciones a considerar son:

- Tratamiento previo de corrientes individuales de aguas residuales con tratamiento biológico central corriente abajo, por ejemplo una corriente que contenga metales pesados o DQO refractario, para reducir los contaminantes en origen, lo que evita la dilución y dispersión no deseadas de contaminantes que de otro modo escaparían si detectar y sin tratar al agua receptora.
- Tratamiento final de corrientes individuales de aguas residuales con descarga directa al agua receptora.
- Tratamiento de aguas residuales distribuidas, como tratamiento previo o final.
- Tratamiento central para todo el complejo, por ejemplo planta de tratamiento mecánico / biológico (planta biológica central de tratamiento de aguas residuales) o una planta de tratamiento para agua de lluvia contaminada.
- Ningún tratamiento para corrientes individuales de aguas residuales de baja contaminación o agua de lluvia no contaminada.

Las distintas técnicas de tratamiento se describen en el Capítulo 3.

### 2.2.2.3.2. Selección del Sistema de Control de Gases Residuales

El procedimiento de selección sigue la secuencia mencionada en la Sección 2.2.2.3. Cuando se planifiquen las modificaciones que acarrea la reducción en origen o el tratamiento final de línea, debe siempre tenerse en consideración que todos los cambios tienen considerables implicaciones de seguridad, particularmente al tratar con sustancias inflamables. Por consiguiente, es absolutamente esencial evaluar a fondo el efecto de cualquier cambio sobre la seguridad de la instalación.

- **Reducción en origen**

El control de emisiones de forma económica requiere, en primer lugar, una investigación de las posibilidades de reducción en origen. Se requiere una planificación cuidadosa para optimizar la recuperación de contaminantes y, en consecuencia, los costes de inversión y costes operativos relacionados.

La investigación puede revelar oportunidades adicionales de reducción en origen de emisiones. En la mayor parte de casos, la inversión relacionada es inferior a la de un tratamiento postproducción (final de línea). Por lo tanto, se recomienda especialmente una investigación cuidadosa de las posibilidades de reducción en origen. Debería basarse en las causas de las emisiones. Por lo tanto, un buen conocimiento de la importancia relativa de cada causa será esencial a efectos de priorización. Una vez se hayan agotado todas las posibilidades de reducción en origen factibles, todavía puede ser necesario un tratamiento de final de línea.

- **Recogida de emisiones** (ver Sección 2.2.2.4.2)

- **Selección de la tecnología de tratamiento**

Cuando las medidas de reducción en origen no conducen a la reducción de emisiones requerida, se requiere un tratamiento postproducción. Todos los dispositivos de tratamiento pueden manejar sólo emisiones conducidas. Por lo tanto, si hay que eliminar emisiones no capturadas por medios distintos de la reducción en origen, se requerirán campanas de recogida y un sistema de ventilación (incluso las instalaciones de seguridad necesarias) corriente arriba del sistema de eliminación de final de línea. Los costes de instalación de estos sistemas de ventilación pueden ser significativos. Por lo tanto estos sistemas deben diseñarse con la economía en mente. La inversión requerida para el tratamiento final de línea en sí mismo estará generalmente en función del caudal de gas total a tratar, por lo que los esfuerzos para reducir al mínimo este caudal serán rentables. Por último, la selección de una tecnología de tratamiento conveniente tendrá un impacto significativo sobre los costes de inversión y costes operativos requeridos.

Los aspectos claves del diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales son el caudal de la corriente de gas, sus concentraciones de contaminantes y, además de los valores máximos su grado de variabilidad. La naturaleza – o química – de los contaminantes es de importancia primordial, ya que todos los sistemas de tratamiento están limitados a este respecto, como por ejemplo:

- Sólo los vapores inflamables son adecuados para incineración.
- Los contaminantes que contienen halógenos y/o azufre pueden requerir tratamiento corriente abajo de los gases de escape, mediante oxidación térmica y catalítica.
- La eficacia de la condensación depende de la presión de vapor de los contaminantes a la temperatura de condensación, por lo que las sustancias con una presión de vapor más alta son menos adecuadas para condensación.
- Sólo los compuestos de pequeño tamaño molecular pueden ser absorbidos y desorbidos de forma eficaz.
- La biofiltración de compuestos no biodegradables carecerá de eficacia.
- Las membranas funcionan mejor sobre compuestos específicos.
- La eficacia del lavado húmedo depende de la solubilidad y la presión de vapor de los contaminantes.

El valor del producto emitido determinará el incentivo para recuperarlo del gas de escape, por lo que cuanto más valioso sea el producto más se preferirán las técnicas que permitan su recuperación (ej. adsorción, condensación, membranas) frente a las técnicas de destrucción (eliminación) (ej. oxidación térmica y catalítica, biofiltración).

La presencia de impurezas en el gas de escape afecta el diseño del sistema. A veces estas impurezas debe ser eliminadas en un paso de pretratamiento, como por ejemplo:

- Vapor de agua, que afecta la eficacia de adsorción, los sistemas de condensación, particularmente los sistemas refrigerados o criogénicos, o los sistemas de filtro.
- Polvo, que produce problemas en adsorción, absorción u oxidación catalítica, ya que las partículas de polvo obstruyen el relleno o el lecho adsorbente.
- Venenos de catalizadores, que destruyen la eficacia de un incinerador o de un filtro catalítico.
- Ácidos, que afectan la actividad de biofiltros y lavadores biológicos.

La concentración de escape permitida debe ser considerada. La mayor parte de tecnologías son limitadas en cuanto a eficacia de eliminación, y en particular la condensación, la absorción y la biofiltración consiguen una eficacia de eliminación lejos del 100 %. Esto es una ventaja de los sistemas de oxidación térmicos o catalíticos, que alcanzan eficacias de destrucción muy altas, aproximadamente del 99 %, pero por otra parte hay que considerar el consumo adicional de energía y combustible y la descarga de gases de combustión. Los sistemas de adsorción son también muy eficaces, mientras se tenga cuidado en evitar saturar el adsorbente.

Las cuestiones de seguridad son particularmente importantes para los sistemas de oxidación térmica y catalítica. La mayor parte de mezclas de COV y aire son inflamables a concentraciones de COV por encima de  $\text{g/m}^3$  a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  y presión atmosférica. A fin de evitar el retroceso de llama (flashback), es decir, la propagación de una llama en los conductos de admisión de un incinerador, hay que asegurar que la concentración de admisión esté siempre bajo del LEI (límite de explosividad inferior). La opción contraria – una concentración de COV bien por encima del LES (límite de explosividad superior) – debe asegurar que la concentración COV no caiga en ninguna circunstancia por debajo de este límite superior. Puede disponerse un evitador de detonación o un tambor de sellado para prevenir el riesgo de retroceso de llama para concentraciones imprevistamente altas. Además de esto, el incinerador debe instalarse en una posición en la que no haya ningún riesgo de presencia de vapores inflamables, y se requiere un análisis detallado que asegure la seguridad de la instalación. También los sistemas que utilizan otras tecnologías deben ser sometidos a una revisión de seguridad detallada. Muchos sistemas (ej adsorción, membranas) causan corrientes más concentradas, produciendo posiblemente concentraciones dentro del rango inflamable. Para sistemas de adsorción, hay que evaluar los riesgos de sobrecalentamiento del lecho. Muchos sistemas incluyen compresores o soplantes que pueden tener implicaciones de seguridad. Generalmente, se requiere una revisión de seguridad detallada de cada instalación y esto puede tener un impacto significativo en la selección del sistema. Así, los aspectos de seguridad son importantes para precipitadores electrostáticos (la eliminación de polvo de gases inflamables debería evitarse) y los filtros de mangas (posible ignición debido a gases calientes, polvos pirofóricos y chispas).

La inversión requerida para el sistema es obviamente también de primordial importancia. A la hora de evaluar la inversión requerida, debe tenerse cuidado en incluir todos los costes de todas las instalaciones requeridas. En particular, el suministro de servicios, la conducción de ventilaciones recogidas a la unidad de eliminación y los requisitos de equipos auxiliares (ej. tambor de sellado para un incinerador, unidad de tratamiento de agua para un condensador) puede tener un impacto significativo en los costes.

Aunque la inversión inicial sea importante, los costes operativos pueden ser aún más importantes. Éstos incluyen el consumo de servicios, la sustitución de catalizadores, medios de adsorción o membranas, los costes de productos químicos, operaciones y mantenimiento, el desecho de subproductos, pre y postratamiento, etc. A la hora de evaluarlos, debería tenerse cuidado en cuantificar los costes asociados con cada etapa de las operaciones (operaciones normales, regeneración, tiempo muerto). A modo de ejemplo, los oxidadores térmicos están normalmente provistos de un forro refractario. Este refractario es sensible a la humedad y por lo tanto debe mantenerse siempre caliente. La cantidad de combustible requerido para mantenerlo caliente durante los tiempos muertos es una consideración importante para sistemas que no funcionan 24 horas al día 7 días por semana. Mantener un sistema regenerativo o sin llama requiere una fracción del combustible necesario para un oxidador térmico simple.

Las restricciones de configuración pueden desempeñar un papel importante. Los sistemas de incineración deben estar localizados fuera de lugares donde pueda haber presentes vapores inflamables. La instalación de un sistema dentro de una zona peligrosa requerirá el diseño de sistemas eléctricos y de instrumentación adecuados, que pueden tener considerable efecto sobre el coste de la unidad. También deben considerarse los requisitos de acceso a la unidad.

La disponibilidad de servicios es otro aspecto clave en la selección de la tecnología de eliminación más apropiada. La disponibilidad de un combustible adecuado es un requisito para un sistema de incineración, y los costes de combustible pueden tener un fuerte impacto sobre los costes operativos. Los sistemas de adsorción de lecho fijo utilizan normalmente vapor para desorción; sin embargo, si no hay vapor disponible en cantidad suficiente, el diseño deberá ser adaptado en consecuencia. Se requiere un suministro de energía suficiente para sistemas de condensación, y agua suficiente para sistemas de lavado con agua.

Los sistemas de tratamiento se describen en el Capítulo 3.

### 2.2.2.4. Elección de sistema de recogida

La elección de un sistema de recogida adecuado está influenciado por la elección de sistemas de tratamiento y por lo tanto depende de la misión y del objetivo del tratamiento de aguas y gases residuales. En las siguientes secciones se describe la metodología de selección para el desagüe de aguas residuales y la conducción de gases residuales.

#### 2.2.2.4.1. Selección del sistema de recogida y separación de aguas residuales

Teniendo en cuenta los resultados del registro de aguas residuales, la elección de un sistema adecuado de recogida de aguas residuales asegura una descarga óptima de aguas residuales con el mínimo impacto para el medio ambiente. Según los requisitos de tratamiento corriente abajo, debe instalarse un sistema de desagüe que cubra las necesidades de:

- Desagües de agua de lluvia
- Desagües de agua de refrigeración, según el grado de contaminación.
- Desagües de agua residual adecuada para descarga directa sin tratamiento.
- Desagües de agua residual sanitaria.
- Desagües de aguas residuales de proceso según su origen.
- Desagües de instalaciones de tratamiento descentralizadas o centralizadas (in situ o externamente).
- Desagües separados para agua residual orgánica e inorgánica sin carga orgánica relevante, evitando con ello la dilución de ambas partes, lo que comporta pérdida de eficacia de tratamiento.

Estos prerrequisitos, así como factores económicos, requieren la aplicación y el mantenimiento de sistemas de separación / segregación de aguas residuales. El agua residual que no requiere tratamiento – como agua de refrigeración no contaminada o agua de lluvia no contaminada – se separa del agua residual que debe ir a tratamiento, reduciendo con ello la carga hidráulica sobre el sistema de desagüe y de tratamiento.

Las corrientes de aguas residuales que no logran cumplir los requisitos de calidad para tratamiento central se someten a operaciones especiales de tratamiento previo. Así, para cada corriente de agua residual, debe seguirse el proceso de decisión ilustrado en la Figura 2.5 y designarse el sistema apropiado de alcantarillado.

El agua residual puede ser recogida mediante sistemas de alcantarillado subterráneos o sobre tierra. Las plantas existentes están a menudo equipadas con sistemas subterráneos, ya que pueden utilizarse como sistema de alcantarillado por gravedad, ahorrando energía de bombeo, y las tuberías están fuera del camino de las instalaciones de proceso. Los colectores sobre tierra tienen la ventaja que las fugas o roturas pueden descubrirse fácilmente antes de que se cause mucho daño a las reservas de agua subterránea. Si el nivel de agua subterránea en un complejo industrial está cerca del cero, como ocurre en complejos cerca de terraplenes, estuarios o áreas costeras, no hay por lo general ninguna opción aparte de la conducción sobre tierra de las alcantarillas. La tecnología avanzada utiliza alcantarillas sobre tierra, ya que el mantenimiento, la modernización y las reparaciones son más fáciles de realizar y por lo tanto su operación es económica. Una desventaja es la necesidad de conductos a presión y el riesgo de formación de emulsiones debido al bombeo. Las situaciones climáticas, sin embargo, podrían ser un problema para las alcantarillas sobre tierra (ej. áreas con periodos largos de heladas).

#### 2.2.2.4.2. Elección de sistemas de recogida de gases

Los sistemas de recogida de gases residuales suelen ser menos extensos que los sistemas de recogida de aguas residuales. Se instalan principalmente:

- Como sistemas de recogida de ventilaciones, llevando varias ventilaciones a un sistema de tratamiento común.
- Para capturar las emisiones difusas y/o fugitivas mediante campanas de extracción y conducir las a una unidad de tratamiento.
- Como sistemas de combustión en antorcha, que se instalan primordialmente para permitir un desecho seguro del gas de escape en situaciones de emergencia.

Con el fin de reducir al mínimo el caudal de aire a la unidad de control, es recomendable encerrar las fuentes de emisión todo lo posible mediante particiones que separen las fuentes de emisión de sus alrededores. Esto, sin embargo, plantea problemas de operatividad (acceso al equipo), seguridad (evitar concentraciones demasiado cerca del LEI) e higiene (cuando se requiere el acceso de personal dentro del recinto). El recinto debe estar diseñado de tal modo que se evite el escape de vapores, asegurando una velocidad de aire suficiente por las aberturas (se recomienda como mínimo 0,5 m/s). El caudal total debería ser suficiente para asegurar la dilución de vapores a un valor bien por debajo del LEI. Donde sea probable que se supere esta concentración, se requerirá a instalación de un detector de LEI dentro del recinto, incluyendo equipo de control apropiado.

En la mayoría de casos, el sistema de tratamiento de emisiones se instalará en puntos de emisiones conducidas existentes o sistemas de recogida de ventilaciones. Deberá realizarse una revisión crítica de estos sistemas existentes antes de determinar el caudal total del sistema de tratamiento. La revisión se requiere por dos motivos básicos:

- Los caudales reales suministrados por los soplantes pueden ser considerablemente distintos del caudal nominal del soplante, debido a una caída de presión corriente arriba y corriente abajo. Son bastante frecuentes caudales reales de menos del 50 % de la capacidad nominal del soplante. Por lo tanto, basar el caudal del sistema de tratamiento en la suma de los caudales nominales de los soplantes que abastecen la unidad de control puede conducir a un tratamiento final de línea considerablemente sobredimensionado. Por consiguiente, se recomienda la medición de los caudales reales. En el diseño del sistema final hay que prever un margen de tolerancia por el posible cambio en los caudales (aumentos o disminuciones) que puede ser causado por la instalación de la unidad de tratamiento. En caso de una disminución en el caudal, también hay que comprobar las posibles consecuencias para la seguridad.
- Las ventilaciones o sistemas de extracción de humo existentes puede no haber sido diseñadas teniendo en cuenta la minimización de caudal. Pequeños ajustes en el diseño pueden conducir a reducciones significativas en el caudal y en consecuencia a ahorros significativos durante el tratamiento final de línea.

Para sistemas de recogida de COV, los aspectos más importantes son la seguridad y salud del personal. Los dispositivos que pueden instalarse para evitar la ignición de mezclas inflamables de gas y oxígeno, o minimizar su efecto evitando explosiones, son, por ejemplo:

- Eliminador de detonaciones
- Tambor de sellado
- Sellos de agua.

La concentración en los sistemas de recogida de COV debe mantenerse bastante por debajo o por encima del rango explosivo, lo que significa que la mezcla correcta de gases residuales es crucial.

### 2.2.2.5. Puesta en práctica de las opciones de control de emisiones seleccionadas

Una vez seleccionadas las medidas de control de emisiones, debe planificarse su aplicación con detalle, independientemente de si son de naturaleza organizativa o de hardware. Cuando se identifican problemas inesperados durante la planificación o estudio detallado, es posible que haya que revisar la selección de opciones de control de emisiones. Es obvio que una aplicación con éxito de las técnicas de control requiere una buena fase de diseño. De lo contrario, el comportamiento de la opción de control tendría un bajo estándar medioambiental, con una mala relación de costes y beneficios para la inversión ambiental.

El tiempo requerido para aplicar medidas de control de emisiones depende mucho de la naturaleza de las medidas y del tipo de instalación en la que deben aplicarse:

- Las medidas organizativas, como revisión de procedimientos operativos o prácticas de programación, pueden aplicarse normalmente con relativa rapidez.
- Las medidas de control, como rutinas de optimización de control informático, pueden requerir varios meses (o incluso más) para su desarrollo y ensayo en el entorno operativo.
- Las medidas de hardware, como la aplicación de medidas de control o modificaciones de proceso destinadas a la reducción en origen, pueden requerir de varios meses a varios años, según el tamaño de los proyectos y la capacidad para aplicarlos en el entorno de una planta en funcionamiento. Esta duración incluye el diseño de las instalaciones, los permisos, la ingeniería detallada, la obtención del equipo, su instalación y puesta en marcha. En muchos casos se requiere una parada completa de la fábrica (rotación) para realizar las modificaciones en la planta, y en grandes complejos químicos o petroquímicos esto sólo se produce cada varios años.

### 2.2.2.6. Métodos de control de calidad

Los métodos de control de calidad son instrumentos que se utilizan como “solución de problemas” cuando proceso de tratamiento existente se descontrola o no puede cumplir los requisitos para permisos. Las emisiones de una planta de tratamiento son función de las características del influente y de la eficacia de la

operación de tratamiento. Para comprobar si el proceso de tratamiento funciona correctamente, la calidad de salida se evalúa con una serie de estándares. Si estos estándares no se cumplen, hay una necesidad inmediata de restablecer un comportamiento ajustado a los estándares [cww/tm/129]:

- Detectando el cambio.
- Determinando la causa del cambio.
- Realizando acciones correctivas para restablecer el sistema dentro de lo establecido.

La solución de problemas y la mejora del sistema requieren el examen de toda la planta, y la acción correctiva requiere la cooperación de varios departamentos. A continuación, estos métodos se ilustran para tratamiento de aguas residuales, siendo adecuado el método de control para el tratamiento de gases residuales.

### **Ejercicio de control** [cww/tm/129]

Algunas variables pueden ser controladas por el operador de una EDAR, como la purga del clarificador, el oxígeno disuelto y la alimentación de compuestos químicos, que pueden ajustarse cuando las circunstancias lo dictan. Otras están fuera de su control, como el caudal y las características de las aguas residuales. Estas variables pueden influenciar severamente la operación de la EDAR y en último término tener impacto sobre la calidad del agua descargada.

Los aspectos controlables se ajustan en reacción a un cambio en el sistema. El ajuste a las condiciones operativas es una actividad de retroalimentación (feedback) que intenta producir una salida constante en respuesta a entradas erráticas. Las variables que no pueden controlarse se manipulan de una forma predictiva o de alimentación hacia delante (feed-forward). Los ensayos y la monitorización en línea dan a la PTAR un aviso anticipado de los cambios bruscos que ocurren en su entrada.

### **Control / mejora** [cww/tm/129]

El modo común de operar una EDAR es el de control de proceso. Sólo se realizan aquellas operaciones que deben realizarse para cumplir las normas y mantenerse dentro del control por lo que respecta a la calidad del efluente, perdiendo con ello una parte de control sobre el sistema. Los pasos para recuperar el control cuando se ha perdido son los conocidos de detección, identificación y acción correctiva (ver arriba). La opción fácil de no hacer nada no es aceptable en la mayoría de casos.

En términos de calidad “en control” significa que el sistema maneja las variaciones del mejor modo posible pero puede que el proceso no sea capaz de cumplir estadísticamente los estándares de efluentes impuestos, bien porque se trata de normativas nuevas o por un cambio en la entrada. Un nuevo conjunto de estándares requiere mejora, que se deriva de un proceso de búsqueda de soluciones para alcanzar una nueva zona de control, dentro de la nueva normativa.

### **Instrumentos de mejora de calidad** [cww/tm/129]

El objetivo de la mejora de calidad es rechazar los estándares típicos y alcanzar un nivel de comportamiento no alcanzado anteriormente, extendiendo el ámbito de la solución de problemas más allá de la solución de problemas evidentes. Aunque es importante que el sistema funcione, puede ser más importante revisar todo el sistema e identificar áreas de posible mejora. La forma de hacerlo es un proceso en tres pasos:

- Determinación de las causas de posibles problemas.
- Adquisición de datos y análisis.
- Control estadístico de proceso.

El primer paso en la solución de problemas y la mejora de la calidad es centrarse en un número limitado de posibles problemas e intentar determinar sus causas fundamentales. Un **diagrama de causa-efecto** en forma de Diagrama de Espina de Pez o de ISHIKAWA, como se muestra en la Figura 2.6, proporciona una forma eficaz de organizar y presentar las distintas ideas sobre cuáles pueden ser las causas fundamentales.

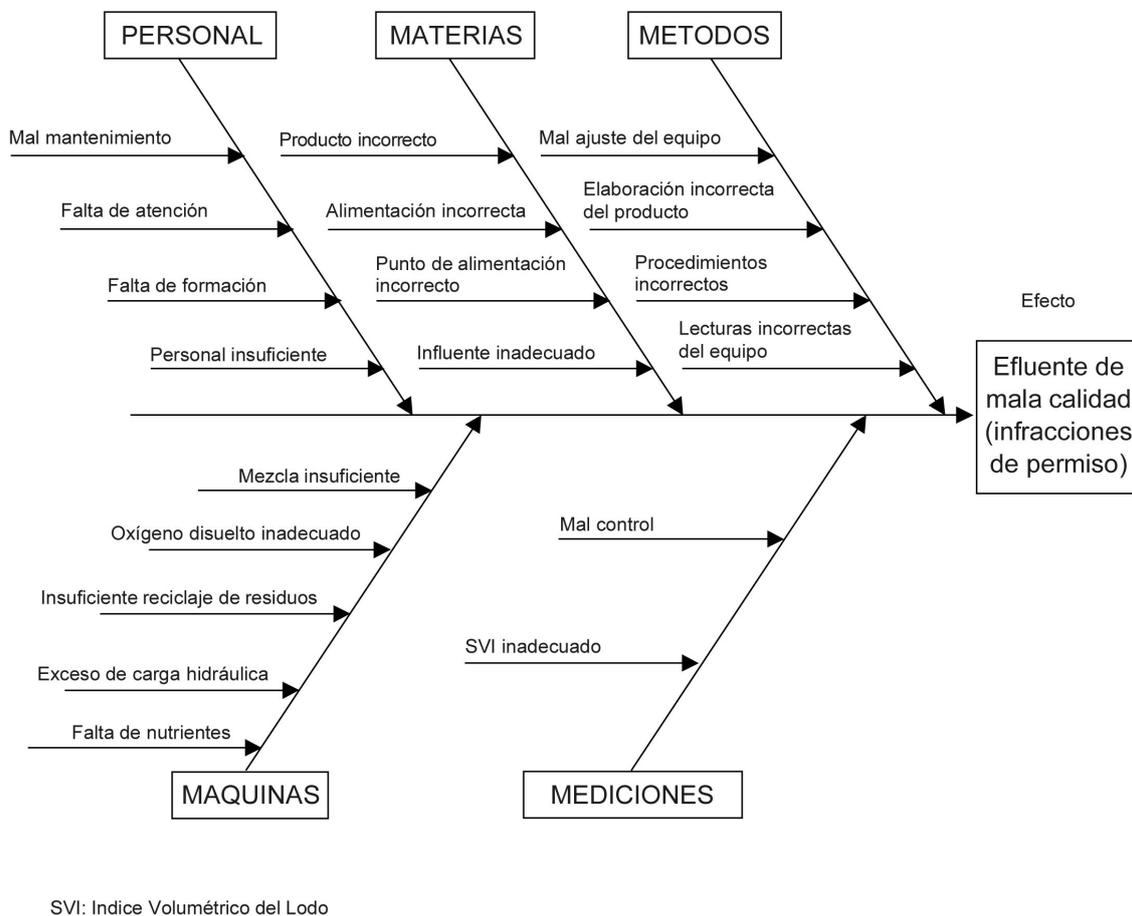
Otro instrumento es el **análisis de Pareto**, que es una comparación jerárquica de los factores relacionados con un problema. Es un medio gráfico de identificar y concentrarse en unos pocos factores o problemas vitales.

Un **diagrama de flujo** establece los pasos necesarios para producir un resultado deseado, y puede usarse para aclarar los procedimientos utilizados y dar una comprensión general de todo el proceso.

El segundo paso de la solución de problemas y de la mejora de la calidad es la adquisición de datos precisos y fiables, y su análisis, recogiendo la información necesaria y preparando los datos para un mejor uso, por ejemplo en forma de histogramas y/o gráficos de tendencias. Estos permiten una visualización del grado de variación del proceso y la identificación de problemas especiales.

El tercer paso en el camino por mejorar la eficacia de una EDAR es el uso de **control estadístico de proceso** (SPC). El SPC utiliza métodos estadísticos para estudiar, analizar y controlar la variación en un proceso. Es un vehículo a través del cual se puede extraer información significativa sobre un proceso que permita aplicar acciones correctivas cuando sea necesario. El SPC se utiliza para cuantificar la variación de datos y determinar matemáticamente si un proceso es estable o inestable, predecible o errático. Un diagrama de SPC es un instrumento que puede dar respuesta a las siguientes cuestiones:

- ¿La EDAR está dando los mismos resultados que siempre?
- ¿Está en un estado de control estadístico o son evidentes causas especiales de no conformidad?
- ¿Está funcionando todo lo bien que cabe esperar, dadas sus limitaciones físicas?
- ¿Exactamente cuándo se requiere acción correctiva y cuándo debe dejarse el sistema sin alterar?
- ¿Debe aplicarse una acción correctiva cambiando el proceso o cambiando procedimientos?



**Figura 2.6. Diagrama de causa-efecto de efluente de mala calidad**

Para construir un diagrama de SPC, los límites estadísticos superior e inferior se calculan a partir de los datos. Estos límites son establecidos por el proceso y se basan en el comportamiento anterior. No deben confundirse con los límites de control operativos, es decir, los límites utilizados para el funcionamiento de la EDAR o para cumplir los límites de permisos. Los límites de control operativos deben estar dentro de los límites estadísticos (superior e inferior).

Se requiere atención o acción inmediata cuando:

- Los datos caen fuera de los límites estadísticos y por tanto se consideran como una causa especial de variación, como un procedimiento de muestreo, un vertido de un licor o un instrumento que requiere calibración.
- Los límites estadísticos son demasiado amplios, y los valores reales caerán eventualmente fuera del rango de control o de los límites de permisos.

Cuando los límites estadísticos definidos por el proceso caigan fuera de los estándares o requisitos operativos, es probable que el operario esté reaccionando de forma apropiada a los cambios que observa en el proceso. Está luchando con un sistema que se espera que funcione dentro de un rango en el que estadísticamente no es capaz de funcionar consistentemente. Los datos indican que hay demasiada variación para operar la EDAR de forma consistente y que hay que aplicar cambios en el sistema para recuperar el control.

### 2.2.3. Instrumentos de gestión estratégica

Los instrumentos de gestión estratégica se describen en la medida en que son aplicables a la organización y operación de la manipulación de emisiones. Su aplicación a la gestión de procesos puede entrar en el ámbito de sus respectivos BREF verticales, o el BREF sobre aspectos económicos y de efectos sobre otros medios. Los instrumentos que evalúan las opciones medioambientales y económicas son, por ejemplo:

- Evaluación de riesgos
- Establecimiento de referencias
- Análisis del ciclo de vida (ACV),

#### 2.2.3.1. Evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos es una metodología común para calcular los riesgos humanos y ecológicos derivados de las actividades de procesos de producción. Puede tener en cuenta emisiones continuas y discontinuas. Se trata de un proceso por pasos e iterativo, que incluye al menos el primero de los cinco pasos siguientes [cww/tm/132]:

- Identificación de riesgos, es decir, determinación de la capacidad de una sustancia para causar efectos adversos.
- Evaluación de concentración-efecto, es decir, estimación de la relación entre el nivel de exposición a una sustancia y la incidencia y severidad de sus efectos.
- Evaluación de exposición, es decir, estimación de las concentraciones o dosis a las que pueden estar expuestos los compartimentos medioambientales (incluida la población humana).
- Caracterización de riesgos, es decir, estimación de la incidencia y severidad de los efectos adversos que pueden ocurrir.
- Estimación de riesgos, es decir, cuantificación de la probabilidad estimada en una caracterización de riesgos.

Cuando el primer paso no identifica un riesgo en la corriente a descargar, la aplicación de un proceso iterativo es obsoleta.

El proceso iterativo mencionado anteriormente caracteriza el riesgo, determina quién o qué está en peligro, así como los niveles, fuentes y vías de exposición. La siguiente etapa es – a consecuencia del proceso de evaluación de riesgo – reducir el riesgo y mitigar las consecuencias de un episodio adverso [cww/tm/132]. Así, la evaluación de riesgo puede dar recomendaciones valiosas sobre los requisitos para instalaciones de tratamiento, así como para el desarrollo de medidas preventivas y de minimización. La evaluación de riesgos podría encontrar que, por ejemplo:

- Una corriente emitida posee propiedades tóxicas que no permiten su exposición al medio ambiente en absoluto, con el efecto que se requiere su eliminación completa o reciclaje.
- La instalación de un proceso podría no ser posible, porque el medio receptor estuviera ya precontaminado en tal grado que la contaminación adicional causaría una exposición peligrosa.
- Un tipo distinto de tratamiento podría ser ventajoso en comparación con uno más común.
- Podría requerirse un cambio en el proceso de producción para cumplir demandas de calidad ambiental.

El proceso de decisión de medidas apropiadas cae fuera del ámbito de la evaluación de riesgos. Las consideraciones socioeconómicas y políticas pueden influir en estas decisiones. Es por lo tanto importante separar la evaluación de riesgos basada únicamente en datos técnicos de este proceso político [cww/tm/132], que normalmente incluye consideraciones de riesgos y beneficios, incluida la asignación de costes, y a menudo implica un juicio subjetivo. Estas reflexiones se considerarán en el BREF sobre aspectos económicos y efectos sobre otros medios.

Existen programas informáticos para la aplicación de procesos de evaluación de riesgos [cww/tm/84].

### 2.2.3.2. Establecimiento de referencias

El establecimiento de referencias es un proceso de comparación de los logros de una planta o complejo con los de otros. Es un instrumento para que los operadores evalúen el comportamiento de su instalación, es decir, la forma de gestión o tratamiento de aguas y gases residuales, con referencia a actividades similares en otros lugares. Los elementos centrales son el método de cálculo utilizado en la clasificación y la verificación de los comportamientos proporcionados. El establecimiento de referencias puede ser un instrumento para mejorar la situación ambiental en un complejo.

### 2.2.3.3. Análisis del ciclo de vida (ACV)

El ACV comporta la comparación de los posibles efectos medioambientales de distintos modos de operación. Los principales objetos de investigación son productos o servicios, pero también puede trasladarse a instalaciones y vías de desecho y por lo tanto al ámbito de este documento. El ACV consta de las siguientes fases [cww/tm/132]:

- Definición de objetivos y ámbito.
- Análisis de inventarios, incluido el flujo de materia y de energía en forma de balance de entradas y salidas a lo largo de todo el ciclo de vida.
- Evaluación de impactos, que comporta una determinación de los posibles impactos ambientales.
- Interpretación de los resultados, que se utiliza para seleccionar las variantes más favorables desde el punto de vista ecológico.

El LCA está todavía en desarrollo, con el análisis de inventarios como la parte más avanzada y la interpretación como la menos avanzada. A pesar del método de evaluación parcialmente subjetivo, el LCA es un instrumento de decisión muy bueno, ya que las relaciones complejas pueden reducirse sistemáticamente a comparativamente pocos conjuntos de datos. El ACV se realiza de acuerdo con reglas reconocidas, como [cww/tm/132]:

- ISO 14040: Gestión medioambiental – análisis del ciclo de vida – principios y directrices
- ISO 14041: Gestión medioambiental – análisis del ciclo de vida – análisis de inventarios del ciclo de vida
- ISO 14042: Gestión medioambiental – análisis del ciclo de vida – evaluación del impacto del ciclo de vida
- ISO 14043: Gestión medioambiental – análisis del ciclo de vida – evaluación de la mejora del ciclo de vida

El ACV considera sólo aspectos ambientales, un solo elemento para la toma de decisiones, mientras que los aspectos económicos y sociales son adicionales y no parte integral, y se basan en los resultados del LCA. Con la ayuda del ACV, la importancia ambiental de los objetos de investigación, como cadenas de producción y servicios de tratamiento, puede determinarse de un modo claro y reproducible, que es la base para la optimización ecológica, es decir, la selección de alternativas ecológicamente "mejores". El LCA puede utilizarse para determinar los puntos siguientes:

- Las vías de disposición ecológicamente óptimas
- El punto de equilibrio ecológico para reciclaje y otras prácticas de protección del medio ambiente
- Puntos débiles en el ciclo de vida del objeto de investigación
- Prioridades de las acciones necesarias. [cww/tm/132].

Debido a la metodología implicada en el ACV, hay limitaciones como [cww/tm/132]:

- Las cargas ambientales debidas a un objeto de investigación no pueden determinarse en términos absolutos, sino sólo relativamente, ya que el verdadero impacto ambiental no es accesible.
- No pueden hacerse inferencias generalmente válidas sobre la compatibilidad ambiental de materiales, compuestos auxiliares y medios, porque no se conoce ni su uso previsto ni su beneficio esperado.
- Sólo es posible derivar declaraciones generales sobre vías de disposición cuando se conocen los valores de referencia para los residuos generados (lo que normalmente no es el caso).

El ACV no puede dictar decisiones, simplemente puede ayudar en su elaboración. Así, es insuficiente basar una decisión orientada ecológicamente sólo en el resultado del ACV, sin tener en consideración la forma en que se ha conseguido el resultado.

#### 2.2.4. Instrumentos de seguridad y emergencia

Dado que todos los centros de producción química tienen el potencial para causar un daño ambiental significativo y amenazar los suministros de agua y la salud pública, deben tomarse medidas para evitar los riesgos en la medida de lo posible o reaccionar ante los accidentes de modo que se reduzcan al mínimo sus efectos. Aunque sea tarea de ingenieros construir el equipo y operar una planta de modo que no puedan ocurrir accidentes, la experiencia común es que esto no tiene éxito en todos los casos.

Los vertidos de productos químicos y petróleo son amenazas obvias en complejos químicos. Sin embargo, materias no peligrosas para las personas también pueden causar problemas ambientales serios, como puede ser la escorrentía generada en caso de un incendio. El daño ambiental puede ser a largo plazo y, en caso del agua subterránea, puede persistir durante décadas o incluso más. Los ríos, alcantarillas, colectores, desagües, sistemas de distribución de agua y otros servicios ofrecen vías para el transporte de los contaminantes fuera del complejo, y los efectos de una descarga pueden ser evidentes a una cierta distancia. En muchos casos, los incidentes de contaminación importantes pueden prevenirse si se han aplicado medidas apropiadas de prevención de la contaminación o están inmediatamente disponibles. La planificación de contingencias es la clave del éxito, y es necesario estudiar cuidadosamente tanto medidas preventivas como estrategias de respuesta a incidentes como instrumentos de gestión [cww/tm/147].

Normalmente, las emisiones accidentales de gas a la atmósfera deben prevenirse mediante equipo de seguridad apropiado y una operación apropiada de las instalaciones, porque en la mayor parte de casos las emisiones gaseosas no pueden ser capturadas. Las excepciones son gases mezclables con agua, como ácidos o amoníaco, que pueden mojarse con una cortina de agua y convertirse así en un elemento para el tratamiento de agua residual.

Los contaminantes pueden escapar del complejo al agua ambiente por varios caminos, como [cww/tm/147]:

- El sistema de desagüe del agua superficial del complejo, directamente o a través de alcantarillas de aguas superficiales externas.
- Escorrentías directas a cursos de agua cercanos o al suelo, con el riesgo potencial para el agua subterránea.
- A través del sistema de desagües sucios, con contaminantes que pasan inalterados por un tratamiento de aguas residuales o que afectan al comportamiento de las instalaciones, causando un daño ambiental adicional.
- Mediante deposición atmosférica, como penachos de vapor.

##### 2.2.4.1. Gestión del agua contra incendios y de los vertidos importantes

El foco principal del agua contra incendios y de la gestión de vertidos está en estrategias de contención y equipos para manejar estos vertidos. También deberían considerarse otros instrumentos de gestión, sin embargo, como instrumentos operativos y estratégicos, apoyados por planes de contingencias o de respuesta a incidentes de contaminación (ver Sección 2.2.4.2) para reducir el impacto de cualquier episodio inesperado que ocurra [cww/tm/147].

El primer paso, sin embargo, debe considerar las estrategias contra incendios y los posibles métodos para reducir la cantidad de escorrentía de agua contra incendios generada, por ejemplo mediante el uso de sprays en lugar de chorros, combustión controlada y posible reciclaje del agua contra incendios, cuando sea seguro y practicable [cww/tm/147].

### Sistemas de contención

En complejos químicos, habrá uno o tal vez más niveles de contención. A la hora de decidir el nivel apropiado de contención, es conveniente una evaluación de riesgo (ver Sección 2.2.3.1). El operador debe considerar los materiales peligrosos in situ, los riesgos planteados por accidentes, incendios, inundaciones y vandalismo, el posible fallo de la contención primaria (es decir, el tanque o recipiente en el que se almacena el material), la sensibilidad del entorno receptor y la importancia de prevenir toda descarga resultante al mismo.

En muchos casos, la contención primaria y local (compartimentación) puede evitar que un incidente cause contaminación. Sin embargo, si no se proporciona contención local, o la evaluación de riesgo indica que se requiere seguridad adicional, por ejemplo para contener la escorrentía del agua contra incendios, que puede ser de miles de metros cúbicos, pueden emplearse sistemas de contención remotos. Éstos pueden ser usados de forma aislada, o en combinación con contención local, para cualquier cosa desde un área pequeña, ocupando parte de un complejo, hasta una serie de grandes instalaciones individuales. Pueden ser necesarias para proteger los sistemas de desagüe de agua superficial y de agua sucia [cww/tm/147].

La capacidad requerida para sistemas de contención remota debe tener en cuenta:

- El daño potencial del agua contra incendios contaminada (los métodos de evaluación basados en frases R pueden usarse también como sistemas como el concepto VCI alemán sobre la capacidad de retención de agua contra incendios, donde se definen clases de riesgo).
- La capacidad primaria (es decir, la capacidad del recipiente en el cual se almacena o maneja el material).
- La cantidad potencial de precipitación de lluvia durante el episodio de emergencia.
- Agua contra incendios y de refrigeración.
- Espuma (como medio contra incendios)
- Efectos dinámicos, como una subida de caudal inicial generada por el líquido o el viento.

Los sistemas de contención remota pueden consistir en:

- Lagunas de contención (o balsas de contención con terraplenes), si la topografía del lugar y las condiciones de la tierra y del suelo son convenientes, ya que las lagunas son esencialmente impermeables.
- Tanques, contruidos al efecto, cuyo tamaño real, estándares de diseño y acabados de protección están influenciados por la clasificación de riesgo del lugar, el tiempo de retención, la cantidad y la naturaleza de los materiales almacenados.
- Válvulas de cierre y conducciones forzadas, operadas manualmente o activadas mediante sensores automáticos, para aislar parte o la totalidad de un complejo.
- Separadores de aceite.

Aunque en muchos complejos debería haber instalaciones de contención permanentes, puede haber circunstancias en las que un vertido no pueda manejado por tales instalaciones, por ejemplo si ocurre fuera de un área compartimentada. En otros casos, en particular en los complejos más pequeños, las instalaciones de contención de agua contra incendios pueden ser inviables debido a consideraciones de coste y de espacio. En tales casos, debe considerarse el uso de sistemas de contención temporal o materiales de control de contaminación [cww/tm/147].

Entre los ejemplos de medidas de contención de emergencia se incluyen [cww/tm/147]:

- Áreas de sacrificio, diseñadas para permitir la infiltración y evitar las escorrentías, equipadas con un sistema de revestimiento impermeable para prevenir la dispersión a otros estratos o al agua subterránea.
- Compartimentación del aparcamiento de vehículos y otras superficies duras.
- Fosos y zanjas, provistas de un revestimiento, en particular en áreas de alta vulnerabilidad del agua subterránea
- Tanques portátiles, superbidones y cisternas.

### Materiales y equipos de emergencia

Hay gran variedad de productos disponibles para tratar con vertidos o contener derrames en áreas de contención de emergencia. Los materiales o equipos usados deben estar bien mantenidos y estratégicamente situados en posiciones accesibles que deben estar claramente señalizadas con avisos que expliquen su uso. El plan de respuesta a incidentes de contaminación (ver Sección 2.2.4.2) debería identificar el equipo y los

materiales de prevención de la contaminación y su localización. Estos materiales y equipos son [cww/tm/147]:

- Arena y tierra para absorber los vertidos de aceite y productos químicos y usar en sacos de arena
- Absorbentes patentados
- Dispositivos y sustancias de sellado para depósitos dañados
- Cierres de desagües
- Brazos de grúa.

Deberían existir medidas para desechar, cuanto antes, cualquier vertido, material contaminado o agua contra incendios. Cuando su reutilización sea posible, el material vertido debería ser devuelto al almacenaje en el complejo. Si se requiere su desecho externo, puede hacerse mediante [cww/tm/147]:

- Un transportador de residuos ordinario.
- Evacuación a una alcantarilla sucia con la aprobación del operador de alcantarillado.
- Tratamiento in situ del agua contaminada por hidrocarburos con separadores de aceite.

### 2.2.4.2. Planificación de la respuesta a incidentes de contaminación

Un plan de respuesta a incidentes de contaminación, según se ha mencionado varias veces en la Sección 2.2.4.1, es principalmente una estrategia para difundir toda la información necesaria del modo más eficiente a todos aquellos que pueden estar afectados. El modo general de poner en práctica un plan de este tipo es [cww/tm/148]:

- Facilitar información sobre el complejo a las personas afectadas por el plan.
- Listado de los teléfonos de contacto clave, como urgencias, autoridades ambientales relevantes, suministro de agua local y operadores de alcantarillado, ejecutivo de SSMA etc., encargado de las llaves y personal de contacto, asesores especializados
- Tener listo un plan de desagüe del complejo, con un esquema claro del complejo, que muestre su configuración y detalles de acceso, puntos de descarga externos para agua superficial y efluentes industriales, etc.
- Facilitar un inventario para el complejo de petróleo, compuestos químicos y productos que incluya todas las sustancias almacenadas en el complejo, que indique la cantidad máxima probable almacenada, adjuntando hojas de especificaciones.
- Detalle de los procedimientos de emergencia, definiendo el alcance de las actividades cubiertas, las responsabilidades de personal y los procedimientos para tratar con episodios como vertidos y fugas de depósitos.
- Disponer de reglamentos sobre formación del personal y ejercicios a realizar periódicamente.

Todo el personal y los contratistas que trabajan en el complejo deberían estar al corriente del plan y conocer su papel si ocurre un incidente.

En el Anexo 7.5 se incluye un ejemplo de un plan de respuesta a incidentes de contaminación.



# Capítulo 3.

## Tecnología de tratamiento aplicada

Este capítulo da más detalle sobre las consideraciones introducidas en las Secciones 1.3 y 2.2.2.3 y describe las técnicas de tratamiento para aguas y gases residuales según su eficacia e impacto ambiental, así como su viabilidad económica. Sin embargo, las variantes de tecnologías conocidas que sólo presentan variaciones leves respecto al proceso general no se mencionan por separado.

El fundamento físico y químico de las técnicas de tratamiento puede encontrarse fácilmente en libros de texto disponibles y por lo tanto no se repite en este BREF. Las operaciones y los procesos que se tratan con en este capítulo son técnicas de postproducción (final de línea) comúnmente usadas en la industria química, por lo que se incluyen técnicas de tratamiento comunes para emisiones de plantas de energía y de proceso de residuos, ya que los complejos químicos grandes a menudo disponen de sus propias instalaciones de producción de energía (electricidad, vapor) e incineración de residuos. Para más información, sin embargo, es necesario consultar los BREF relevante sobre grandes plantas de combustión e incineración de residuos. Las medidas integradas en el proceso se describen cuando son de uso general y no están relacionadas con procesos de producción especiales.

La descripción sistemática en este capítulo sigue el recorrido de los contaminantes y presenta las técnicas en relación a su aplicación en un complejo químico. Puede encontrarse información adicional en las Secciones 3.3.4 y 3.5.

### 3.1. Información presentada en este capítulo

La descripción de técnicas de tratamiento sigue un orden fijo para proporcionar la información necesaria para asistir a quien redacta un permiso respecto a la aplicación de las MTD para una instalación en el sector químico. La información también intenta ayudar a las empresas a cumplir las exigencias de las MTD y presentar una buena solicitud de permiso. Esta estructura ha sido elegida para asegurar que para todos los procesos y operaciones de tratamiento se recopile y presente el mismo tipo de información, y sea factible una comparación entre distintas opciones de tratamiento.

La descripción de los procesos y operaciones de tratamiento se subdivide en los apartados:

- Descripción
- Aplicación
- Ventajas / Desventajas
- Niveles de emisión alcanzables / índices de eficacia
- Efectos sobre otros medios
- Monitorización
- Economía.

El primer apartado, denominado **descripción**, describe los fundamentos de una técnica de tratamiento sin entrar en el detalle. El fundamento físico y químico teórico se excluye deliberadamente. Esta información puede encontrarse en distintos libros de texto. El uso de fórmulas y ecuaciones químicas y matemáticas se evita siempre que sea posible sin pérdida de información. Este apartado también da una descripción de qué equipos intervienen en esta técnica y cómo funciona la técnica. Cuando hay disponible información gráfica, como un esbozo o un diagrama de flujo, se utiliza en sustitución de explicaciones verbales, a condición de que no haya ninguna pérdida de la información necesaria.

El segundo apartado, titulado **aplicación**, describe cómo y dónde podría aplicarse la técnica en cuestión, teniendo también en cuenta su uso en sectores relacionados, cuando pueda esperarse que también sea útil en el sector químico. También incluye los contaminantes relacionados a ser tratados. Parte de este apartado es un listado de posibles límites de aplicación y restricciones.

El tercer apartado, titulado **ventajas/desventajas**, trata de perfilar algunas ventajas y problemas asociados con cada técnica, teniendo en cuenta que algunas leyes fundamentales de conservación de masa y energía nos impiden controlar o eliminar algo sin dejar rastro en el medio ambiente.

El cuarto párrafo, titulado **niveles de emisión alcanzables / índices de eficacia**, muestra la eficacia de la técnica. Detalla los niveles de emisión alcanzables y/o la eficacia de eliminación. Los valores listados son los que cabe esperar en condiciones de trabajo regularmente buenas. No obstante, esto no implica que estos valores sean alcanzables en todas las circunstancias y con todas las aplicaciones. La explicación del término “niveles de emisión alcanzables” se da en la Sección 4.1. Los índices de eficacia se indican en relación a la carga de alimentación, con la consecuencia de que las alimentaciones bajas dan índices de eficacia bajos (en porcentaje), mientras que las alimentaciones altas dan índices de eficacia elevados, aunque la concentración residual todavía pueda ser alta.

El quinto párrafo, titulado **efectos sobre otros medios**, muestra el impacto en el medio ambiente derivado de la acción de esta técnica, como generación de lodo, calor residual, emisiones gaseosas, ruido, olor etc. así como el aporte necesario de consumibles, como agua, energía y sustancias auxiliares.

El sexto párrafo, titulado **monitorización**, describe el examen de la entrada, la salida y el funcionamiento regular de los dispositivos técnicos conforme a la mejor práctica de monitorización.

El séptimo párrafo trata de la **economía**. Intenta dar información sobre costes de la técnica en cuestión, en la medida en que se haya facilitado información. Para clarificar lo que se entiende por gastos en este documento horizontal, la Sección 3.2 da algunas explicaciones sin intentar presentar aspectos económicos especiales, para los cuales se recomienda hacer referencia al BREF sobre economía y efectos sobre otros medios.

### 3.2. Información sobre costes en este documento horizontal

Los gastos para la instalación de una nueva tecnología de control de emisión, modernización de tecnologías existentes o puesta en práctica de medidas integradas en proceso, dependen en gran parte de cuestiones específicas del complejo y del tipo de producción. Así, los costes absolutos de construir o instalar realmente una tecnología de tratamiento no tienen ningún valor de información real para un enfoque horizontal, ya que no son comparables con nada. Tampoco se incluyen los costes para poner en práctica la infraestructura apropiada y necesaria. Otro factor importante en la selección de una técnica de tratamiento conveniente es el período de amortización para una medida integrada en el proceso. Dado que los costes implicados serán siempre específicos de la planta y/o del proceso, este documento horizontal no puede considerar este factor de forma adecuada. No obstante, indica los costes de suministro de equipo en relación con la capacidad de producción, la corriente de agua residual / gas residual o la cantidad de contaminante (es decir. costes por tonelada de producto, m<sup>3</sup> de agua residual o 1000 Nm<sup>3</sup> de gas residual o kg de contaminante). Los elementos a considerar al evaluar datos sobre costes que no se incluyen generalmente en este documento debido a sus características específicas de complejos y de procesos, se explican en los siguientes párrafos [cww/tm/48].

#### 3.2.1. Costes totales de instalación frente a costes de equipos suministrados

Al intentar determinar el coste de las técnicas de control de emisiones, a menudo se cree que lo más fácil es seleccionar una técnica que parece satisfacer las exigencias existentes, y solicitar una cotización de un proveedor. Aunque es rápido y conveniente, este enfoque puede conducir a estimaciones muy inexactas del coste actual de la técnica de control de emisión. Estas se realizan sobre una base absoluta, como el coste por tonelada de emisión reducida, y sobre una base relativa al comparar opciones de tecnología. Las distintas técnicas a menudo pueden tener distribuciones muy distintas de elementos de coste individuales entre los distintos tipos de costes que componen su coste total instalado. Típicamente, el 20-30 % del coste total instalado es para la compra de equipo principal, pero también puede ser tan bajo como un 10%.

Los costes operativos también deben ser considerados críticamente al efectuar comparaciones de costes absolutas y/o relativas de varias técnicas de control. A veces pueden pasarse por alto desde una perspectiva de hardware de la tecnología de control, como sucede a menudo al considerar la aplicación de técnicas. Es importante tener en cuenta el hecho que los costes operativos pueden variar enormemente entre tecnolo-

gías, según el consumo de servicios, el consumo de productos químicos auxiliares, las exigencias de mano de obra, el potencial de generación de residuos y el coste de su desecho, etc.

Los costes de suministros incluirán típicamente sólo el coste del equipo específico suministrado. A menudo éste es una fracción relativamente pequeña del coste total de un proyecto. Además, los gastos de ingeniería asociados con el diseño y la supervisión del proyecto suelen ser ignorados, pero pueden fácilmente ser iguales al coste del equipo suministrado. Los gastos que no suelen contabilizarse al estimar el coste de un proyecto incluyen elementos como la necesidad de:

- Reubicar instalaciones existentes.
- Interrumpir la producción durante la modernización.
- Ampliar o trasladar líneas de alcantarillado existentes.
- Realizar prospecciones del suelo.
- Desarrollar nuevos planos y esquemas de proceso e instrumentación.
- Modificar conducciones existentes e instalaciones como soplantes, bombas, etc.

En la Tabla 3.1 [cww/tm/48] se da un ejemplo para una unidad de limpieza de tail-gas en una refinería con costes totales de instalación, precios de 1997 indicados en euros. Los costes directos del equipo –o costes de suministros– son de 7,9 millones de EUR, en comparación con los costes totales de 29,4 millones de EUR, es decir, que sólo representan el 27 % de los costes totales de la instalación.

**Tabla 3.1.**  
**Ejemplo de costes de un proyecto real**

Descripción	millones de EUR
<b>Costes de equipos (costes de suministro)</b>	
Materiales	7,3
Catalizadores y compuestos químicos	0,6
Subtotal	<b>7,9</b>
<b>Costes indirectos</b>	
Ingeniería detallada	8,0
Supervisión in situ	1,6
Derechos de propiedad	2,4
Subtotal	12,0
<b>Costes directos no de equipo</b>	
Subcontratas	8,6
Construcción temporal y consumibles	0,4
Subtotal	9,0
Total inversión	28,9
<b>Gastos</b>	
Coste de licencia	0,5
Subtotal	0,5
<b>Total final</b>	<b>29,4</b>

### 3.2.2. Costes de polígono verde frente a costes de modernización

Las instalaciones de polígono verde y las operaciones y unidades existentes requieren esencialmente la misma tecnología para mejorar el comportamiento medioambiental (es decir, control de contaminantes específicos y cumplimiento de los valores límite de emisión especificados). Las diferencias entre estos dos tipos de instalaciones se derivan esencialmente del hecho de que en un complejo de polígono verde es posible asegurar que todas las exigencias esenciales sean explícitamente consideradas cuando se diseña la instalación. En caso de una modernización (o renovación), las opciones del diseño original pueden hacer que técnicas de control que se hallen disponibles, o que incluso sean preferibles, sean de aplicabilidad limitada o posiblemente hasta inviables.

Se requiere una evaluación específica de la conveniencia de una técnica para modernización de una instalación, pero muchas de las técnicas mencionadas en las secciones siguientes de este capítulo han sido ya incorporadas con éxito a instalaciones químicas y ofrecen un comportamiento ambiental equivalente al que cabría esperar para nuevas plantas. Los proyectos de renovación en instalaciones o complejos existentes deben solucionar una variedad de cuestiones técnicas y de gestión, las más comunes de las cuales se detallan abajo. Estas cuestiones no son excusas para evitar la adopción de técnicas de mejora ambiental, sino que son algunos de los factores pertinentes a una renovación:

- Una fase de definición del proyecto más compleja y laboriosa.
- Ensayos o estudios piloto para evaluar el impacto de un cambio en el conjunto del proceso.
- Consideración en la etapa de diseño de las repercusiones sobre todas las instalaciones existentes.
- Estudios de las instalaciones existentes en la etapa de ingeniería detallada para definir la localización exacta de todas las interfases. La disponibilidad de espacio puede introducir restricciones (ej. equipos colocados en una estructura elevada, ruta de las conducciones, necesidad de reubicar algunas instalaciones existentes, construcción de instalaciones provisionales).
- Precauciones especiales de modo que las obras puedan realizarse de forma segura, y sin daños, incluso cuando la planta continúa en funcionamiento.
- Aprovechamiento de una parada programada (rotación) para realizar los trabajos de construcción que no puedan realizarse durante las operaciones normales. Estos episodios, que se producen cada varios años, pueden dictar el calendario de la modernización.
- Una parada más larga o más temprana de lo previsto (con implicaciones comerciales y económicas).
- El desmontaje y desmantelamiento de equipos antiguos y obsoletos.
- Formación del personal en la operación del nuevo equipo.
- Revisión de la documentación de la planta (ej. instrucciones de funcionamiento, revisión de permisos, manuales de mantenimiento, inspección y seguridad).

Además del objetivo principal de la mejora del comportamiento ambiental, la modernización de instalaciones químicas puede ofrecer otras ventajas significativas. Algunas técnicas (como técnicas de pretratamiento con potencial de recuperación, medidas integradas en el proceso) aportan importantes beneficios económicos en forma de, por ejemplo, una mayor eficacia y producciones más altas, o reducciones de costes asociadas con ahorros de energía y agua (o tasas reducidas por descargas, cuando se aplica este tipo de régimen), que pueden compensar los costes de inversión y operativos de la modernización. La modernización también puede aportar ventajas competitivas mostrando a los compradores de productos y grupos de presión (como accionistas, comunidades locales, autoridades y grupos ecologistas) que la compañía ha adoptado la tecnología más avanzada.

Las consideraciones de si una tecnología constituye una técnica apropiada para una aplicación de modernización se centran principalmente en la capacidad de la instalación existente para afrontar los requisitos de proceso, físicos y estructurales de la instalación de control. Esta distinción de la tecnología disponible por su aplicabilidad a instalaciones nuevas y existentes es crucial para su inclusión en cualquier determinación de técnicas. Cuando hay información disponible, este capítulo ofrece información sobre el potencial de adaptación de una técnica a instalaciones existentes.

### 3.2.3. Costes de inversión frente a costes operativos

Las distintas técnicas de control (controles a base de equipo y técnicas de procedimiento) pueden ser muy distintas en cuanto a distribución de costes entre costes de inversión y costes operativos. Algunos equipos caros tienen costes operativos bajos, mientras que otros equipos muy económicos comportan fuertes aumentos de los costes operativos como trabajo, utilidades o productos químicos consumibles. Es generalmente más fácil cuantificar el coste del hardware que las plenas implicaciones de los gastos probables que comporta una técnica. Asimismo, los elementos de equipo se harán más costosos con el tiempo debido a la inflación, etc.

Los costes de mano de obra son un elemento importante en los costes operativos y pueden tener distintas consecuencias en una decisión a favor o en contra una técnica, según los distintos niveles salariales en los Estados Miembros. Por ello, si se hace referencia a los costes de mano de obra en este documento, se indican también las horas de trabajo – cuando están disponibles (o se indican horas de trabajo en lugar de costes).

### 3.2.4. Costes iniciales de control de emisiones frente a costes de control incrementados

Una consideración importante del coste de una técnica está relacionada con la rentabilidad variable de una tecnología dada según el punto de control a partir del cual se inicia el cálculo de la rentabilidad. Por lo general los gastos y la eficacia –indicada como porcentaje de reducción de emisiones, o toneladas de emisiones reducidas– de la instalación o aplicación de una técnica se presentan en referencia a operaciones sin referencia controlada. En tal caso, la rentabilidad se calcula fácilmente dividiendo los costes por la reducción de emisión alcanzada.

Hay muchas situaciones en las que ya existen ciertos niveles del control dentro de complejos industriales específicos. En estos casos, los costes para conseguir un objetivo de reducción de emisión dado se ven considerablemente incrementados sobre los valores iniciales de rentabilidad para una operación sin referencia controlada. Esto debe tenerse en cuenta en la determinación de la rentabilidad de una tecnología o técnica.

Así para costes de control incrementados, la rentabilidad  $K_{\text{eff}}$  [kg de reducción / unidad monetaria] puede calcularse como:

$$K_{\text{eff}} = (B - A)/C$$

B: Reducción de emisión para la técnica considerada [kg]

A: Reducción de emisión para la técnica ya instalada [kg]

C: Costes de la técnica considerada

## 3.3. Técnicas de tratamiento de aguas residuales

### 3.3.1. Medidas integradas en el proceso

A continuación se describen medidas integradas en la producción importantes –y normalmente fácilmente adaptables– relevantes para aguas residuales. En la Sección 3.3.1.3 unos ejemplos ilustrativos. Su introducción, por ejemplo como medidas de ahorro de agua, sin embargo, debe ser evaluada detenidamente. Aunque su influencia sea normalmente beneficiosa para el medio ambiente, podrían conducir, en circunstancias específicas, a impactos negativos en otros compartimentos medioambientales que podrían eclipsar las ventajas de conservación de agua o reducción de contaminación.

#### 3.3.1.1. Extracción a contracorriente como ejemplo de procesos de ahorro de agua

Los procesos convencionales de lavado de productos son extracciones múltiples que operan en forma discontinua tratando la fase de producto con agua a fin de extraer las sales u otros componentes solubles menores. La cantidad de agua usada es generalmente varias veces la cantidad del producto a lavar. En cada paso de extracción individual hay pérdidas inevitables de producto causadas por su solubilidad, emulsificación y formación de capas sólidas en el límite de fases, etc.

Optimizando el proceso de extracción, y/o introduciendo procesos de extracción avanzados, como la extracción a contracorriente, puede conseguirse una reducción considerable de agua residual (y residuos). Un aumento simultáneo de la concentración de contaminante podría permitir un tratamiento más fácil y/o más eficaz, o, en circunstancias especiales, el reciclaje del material. El grado y el método de optimización dependen de la capacidad de producción y de que haya series de producción frecuentes. La extracción a contracorriente es económica específicamente para plantas a gran escala. En ellas puede adaptarse a un proceso de producción particular. Para plantas con pequeñas más reducidas, producciones a escala piloto o producciones de campaña rara vez usadas, otros procesos son más adecuados.

#### 3.3.1.2. Operaciones de reutilización y recirculación

Debe hacerse una distinción entre:

- Aguas residuales que se originan directamente de la producción (ej. agua de reacción, destilados, agua de lavado, filtrados).

- Aguas residuales que se originan de la limpieza de equipos (ej. durante mantenimiento, enjuague de atascos o de aglomerados de producto, limpieza de equipos de uso múltiple debido a cambio de campaña o de producto).

Los pasos de tratamiento específicos para eliminar los compuestos que interfieren pueden mejorar la eficacia de una operación de recirculación. Así, por ejemplo, la neutralización, desorción o filtración de corrientes de agua de proceso puede permitir la reutilización del agua, por ejemplo como agua cruda o para suministro de agua. La reutilización de agua de proceso (agua de aporte, licores madre) es posible cuando los componentes como subproductos o sales no afecten negativamente la calidad de las producciones corriente abajo. De hecho, en lavado de producto de múltiples etapas, las corrientes de agua de lavado pueden ser usadas con frecuencia como agua de aporte, o como el agua de entrada en un paso de lavado anterior.

La reutilización del agua de lavado, enjuague y limpieza de equipo, tiene, además de la reducción de la carga de aguas residuales, la ventaja de recuperación de producto y aumento del rendimiento de producción, siempre que el agua se recircule al mismo proceso de producción. Esto requiere instalaciones para la recogida, almacenaje intermedio o almacenaje de aguas residuales, lo que podría ser un factor restrictivo.

### 3.3.1.3. Refrigeración indirecta con fases vapor

La inyección de agua en una fase gaseosa se utiliza para enfriar o condensar vapores. El contacto directo del agua con fases vapor, sin embargo, genera cantidades grandes de agua residual contaminada por los contaminantes vaporosos. La introducción de intercambiadores de calor superficiales en vez de condensadores / refrigeradores de inyección evita la generación de corrientes de agua de refrigeración contaminadas, ya que los contaminantes permanecen en el condensado. De este modo, la refrigeración / condensación indirecta conduce a un ahorro de agua. Para dar alguna idea de los ahorros potenciales, se requieren unos 27 m<sup>3</sup> de agua para enfriar una tonelada de vapor a 35 ° C (la temperatura generalmente aceptada como un límite superior para descarga). Con la refrigeración indirecta, esta cantidad se hace circular en un ciclo de refrigeración [cww/tm/82], sustituyendo sólo el sólo agua perdida por evaporación.

Los efectos de ahorro de agua se ven reducidos cuando partículas arrastradas, materia sublimada, cristales o materia aglomerada recubren las superficies de intercambio de calor, u obstruyen los espacios entre las superficies de intercambio, por lo que requieren mantenimiento regular.

No obstante, hay procesos en los que la conversión a refrigeración indirecta no es apropiada [cww/tm/82]:

- Puede ser necesario para la cristalización agitar una fase orgánica líquida junto con agua templada o caliente, y luego bajar la temperatura rápidamente por debajo de la temperatura de solidificación añadiendo hielo o agua fría (“choque térmico”). El objetivo de este procedimiento es obtener una suspensión filtrable sin filtros o coágulos.
- Otro ejemplo es la diazotación de aminas. En este proceso, la temperatura se mantiene a un nivel bajo constante mediante adición de hielo, para evitar la descomposición térmica del compuestos de diazonio así como su deposición sobre el equipo, que además supondría un considerable riesgo de explosión.
- Otro ejemplo es el enfriamiento brusco de corrientes de gases calientes, en el que se inyecta agua fría en la corriente de gas para reducir su temperatura de forma tan eficaz y rápida que se evitan las reacciones de los componentes de la corriente de gas (como reacciones de recombinación en los gases de procesos de combustión que producen PCDD y PCDF) y para al mismo tiempo eliminar uno de sus contaminantes (ej. HCl).

### 3.3.1.4. Procesos sin agua residual para generación de vacío

Debido a su funcionamiento casi sin problemas, sus bajos requisitos de mantenimiento y sus bajos costes, las bombas de vacío de chorro de agua y de chorro de vapor se utilizan de forma universal.

La generación de vacío sin agua residual puede conseguirse utilizando sistemas de bombeo mecánico en un procedimiento en circuito cerrado, descargando sólo una pequeña cantidad de agua como purga, o mediante bombas de funcionamiento en seco. Esta descarga asciende a menos del 5 % de la del sistema de un solo paso [cww/tm/82]. En algunos casos, puede conseguirse generación de vacío sin aguas residuales mediante

el uso del producto como líquido de barrera en una bomba de vacío vertical, o mediante el uso de una corriente de gas del proceso de producción.

Si puede conseguirse la generación de vacío sin agua residual es algo que debe determinarse en cada caso particular. Seleccionando el proceso adecuado, hay que tener en cuenta los posibles problemas, particularmente con respecto a la corrosión, la tendencia a la formación de tortas, riesgo de explosión, seguridad de la planta y fiabilidad operativa. Deben tenerse en consideración las limitaciones apropiadas, especialmente en caso de bombas de vacío mecánicas de ciclo cerrado, como bombas de anillo líquido, bombas giratorias de aletas deslizantes o bombas de vacío de diafragma. Aquí, por ejemplo, los vapores pueden reducir la lubricidad del aceite.

Siempre que se evite la condensación de gas en la bomba mediante, por ejemplo, una elevada temperatura del gas de salida, las bombas de funcionamiento en seco son una opción atractiva cuando deben recuperarse disolventes, o cuando es necesario un elevado vacío. Estas bombas no pueden usarse si la corriente de gas contiene grandes cantidades de materias condensables, que forman polvo, o de recubrimiento.

#### 3.3.1.5. Procesos sin agua residual para limpieza del gas de escape

Alrededor de un tercio de los sistemas de limpieza del aire de escape en la industria química funcionan con un proceso de lavado con agua o alcalino (cáustico). Esto captura en particular compuestos orgánicos como cloruro de hidrógeno, dióxido de azufre y sustancias orgánicas solubles en agua.

Las tecnologías sin aguas residuales para limpieza del aire de escape se utilizan, en particular, cuando quiere evitarse que entren sustancias orgánicas o no degradables en una planta de tratamiento biológico de aguas residuales que podrían causar perturbaciones o ser desechadas si tratar al agua receptora.

Ejemplos de técnicas de limpieza de gas de escape sin agua residual son:

- Recogida y oxidación térmica o catalítica subsiguiente de corrientes de gas residual caloríficas, preferiblemente con recuperación de energía.
- Aplicación de equipo de eliminación de polvo en seco (ej. desnebulizadores, ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros de manga) para separar partículas y aerosoles.
- Uso de tratamientos de gas secos / semisecos (ej. adsorción con carbón activado, inyección de cal / bicarbonato sódico) para corrientes de gases residuales cargadas con contaminantes gaseosos orgánicos o inorgánicos.
- Uso de disolventes orgánicos (o aceites) regenerativos en lugar de agua como líquido de lavado para contaminantes gaseosos específicos.

#### 3.3.1.6. Recuperación o retención de sustancias de licores madre o mediante procesos optimizados

La recuperación de sustancias o de componentes de aguas residuales con un coste razonable normalmente es sólo viable para corrientes de aguas residuales concentradas, por lo que normalmente se limita a licores madre. Según el método de síntesis, los licores madre son generalmente soluciones acuosas que quedan tras la separación del producto, o agua de lavado. Su recuperación puede comportar, por ejemplo:

- Eliminación de compuestos individuales utilizables, como materias de partida, productos, disolventes o catalizadores.
- Conversión de materias con recuperación subsiguientes de sustancias, por ejemplo oxidación térmica o catalítica con recuperación de cloro (de cloruros orgánicos) en forma de ácido clorhídrico.

La recuperación de sustancias es viable para concentraciones más elevadas de aguas residuales (ej.- 10 g/l o más). Si intervienen componentes fácilmente eliminables, por ejemplo compuestos volátiles, sólidos, precipitables o extraíbles, los procesos de recuperación pueden ser viables incluso a concentraciones más bajas.

La retención de sustancias mediante procesos optimizados comporta la modificación de pasos de proceso así como medidas adicionales, como la mejora de la elaboración de licores madre.

La retención de sustancias –aparte de la prevención de contaminantes gracias a aspectos como la modificación de la formulación o la mejora del rendimiento de la producción– puede también conseguirse mediante

la eliminación de contaminantes, por ejemplo a través de adsorción o extracción, o mediante conversión, por ejemplo a través de oxidación o incineración.

### 3.3.1.7. Uso de materias primas y compuestos auxiliares poco contaminados

Las materias primas y/o compuestos auxiliares contaminados pueden importar contaminantes a la cadena de producción y por lo tanto al sistema de aguas residuales. Son ejemplos:

- Metales de grasas vegetales crudas.
- Compuestos organoclorados (AOX/EOX) y otras impurezas del ácido clorhídrico de calidad técnica.
- Mercurio como contaminación en hidróxido sódico de la electrolisis cloro-álcali mediante el proceso de amalgama.
- Contaminantes, en particular, de compuestos intermedios y precursores adquiridos externamente.

La capacidad de la empresa para influir sobre esta situación se ve limitada por:

- Información insuficiente de proveedores.
- Aumento de la importación de contaminantes debido a materias recicladas.
- Transferencia de problemas de emisiones a otros lugares a través de la elaboración de las materias primas.

La purificación de materias primas puede ser realizada por fabricantes que disponen de instalaciones técnicas para reducir y desechar correctamente los contaminantes eliminados, como resinas de intercambio para ácido clorhídrico o filtración / adsorción para hidróxido sódico crudo.

### 3.3.2. Estabilización de caudales

En general, las plantas de tratamiento de aguas residuales operan con mayor eficacia a condiciones razonablemente constantes de carga hidráulica (o caudal) y carga de contaminación. No obstante, tanto el caudal como la carga de contaminantes puede fluctuar marcadamente debido a factores como:

- Condiciones de proceso
- Uso de agua para lavado
- Tratamiento de agua de lastre
- Tiempos de mantenimiento
- Lluvias.

Para estabilizar la producción contra variaciones a corto plazo (ej. diarias) y a largo plazo (ej. semanales), es necesario considerar instalaciones de equalización, bien descentralizadas en los diversos complejos de producción o centralmente en la EDAR o cerca de la misma. A veces pueden también instalarse corrientes abajo de la EDAR. La capacidad apropiada de la contención intermedia estará en función de las fluctuaciones anticipadas [cww/tm/132]. La contención intermedia puede instalarse en línea o como corriente lateral a la que puede desviarse el caudal en periodos de máxima afluencia o en casos de perturbaciones de producción, e irse reintegrando a un caudal controlado cuando el caudal se haya moderado. Para aguas de proceso que puedan emitirse al medio ambiente, se utilizan tanques para este fin, mientras que para el desagüe de aguas superficiales se utilizan lagunas abiertas o balsas de retención (ver Sección 3.3.4.4.1) [cww/tm/48].

El resultado de la estabilización y equalización es, por ejemplo:

- Equalización de cargas, como:
  - Carga orgánica
  - Concentraciones de sales
  - Carga de nitrógeno, por ejemplo como prerrequisito, junto con la carga de COT, para una desnitrificación óptima.
- Ajuste de la relación de C : N : P requerida.
- Neutralización de corrientes de aguas residuales ácidas y alcalinas.
- Equalización del caudal de aguas residuales.
- Cumplimiento de los requisitos legales eliminando los picos de descargas de aguas residuales.

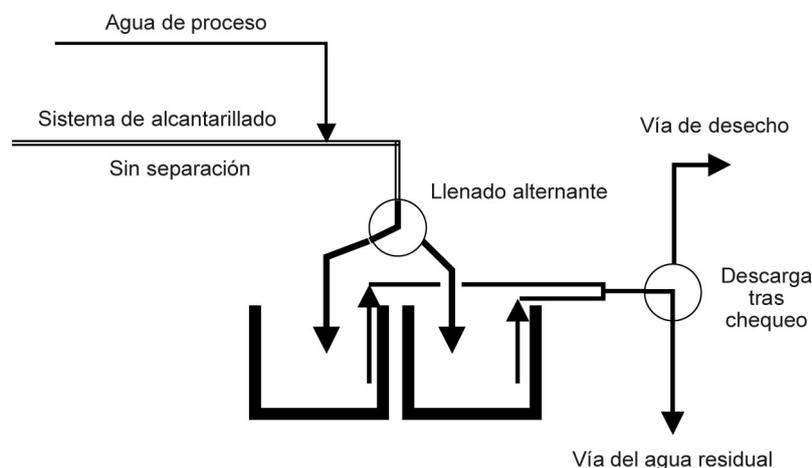
La estabilización o equilibrado de caudales puede también utilizarse como elemento de control para episodios de influjos altos a la EDAR, por lo que la capacidad de la contención intermedia de estabilización puede determinarse no sólo por las fluctuaciones, como se ha indicado anteriormente, sino también por el grado del potencial de riesgo. Para más información, ver Sección 3.3.3.

### 3.3.3. Capacidad de almacenaje o retención para episodios de fallos

Los fallos operativos, las fugas de equipos, la contaminación accidental del agua de refrigeración o otras perturbaciones en las unidades de producción o almacenaje pueden conducir a un aumento en la descarga de contaminantes al agua receptora a través de la EDAR, o a su mal funcionamiento. El riesgo de tales episodios puede crear la necesidad de instalaciones receptoras (o intermedias) de regulación centralizadas o descentralizadas. Para la operación de un sistema de barrera o intermedio de regulación, la pronta detección del episodio de fallo es crucial. Esta detección puede asegurarse por medios tanto analíticos como organizativos [cww/tm/132].

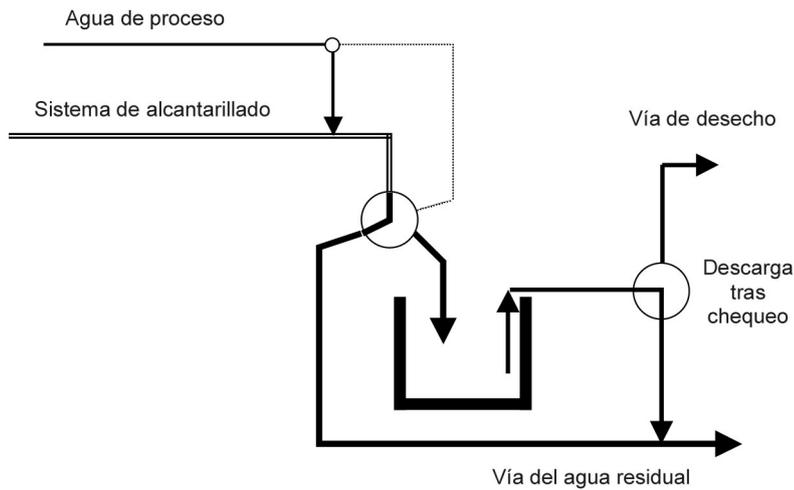
Para este fin se utilizan varios dispositivos intermedios de regulación. Su capacidad debe ser suficiente para almacenar toda el agua residual, que puede incluir agua de lluvia, producida durante un fallo de producción. Pueden combinarse con tanques de estabilización de caudales.

Un dispositivo (ver Figura 3.1), el regulador autocontenido, contiene dos tanques reguladores intermedios que reciben la corriente de agua residual alternativamente. Cuando un tanque se llena, el otro se comprueba y luego se libera a la descarga de aguas residuales o EDAR corriente abajo, o se desecha como residuo, según los resultados de la comprobación. La capacidad de recepción de cada tanque de contención debe ser suficiente para admitir la totalidad de agua residual originada durante el periodo de análisis y el vaciado del otro tanque. Para centros de producción química complejos y grandes con grandes cantidades de aguas residuales, se trata normalmente de una buena opción para corrientes de aguas residuales seleccionadas, ya que de lo contrario el requisito de volumen de los tanques es inmenso. Cuanto mayor sea el tanque mayor será el tiempo de vaciado y viceversa, lo que puede producir un círculo vicioso.



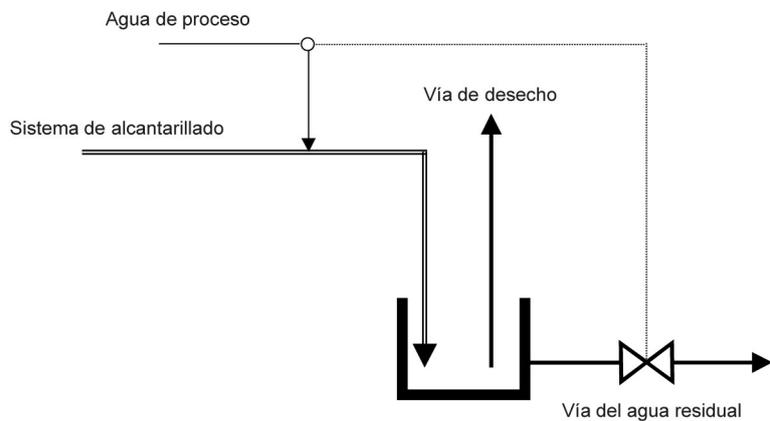
**Figura 3.1.**  
**Regulador intermedio autocontenido con llenado alternativo**

Otro dispositivo es el regulador intermedio conectado, inundado de forma discontinua (ver Figura 3.2) o continua (ver Figura 3.3). El regulador operado discontinuamente se desconecta cuando no se usa, es decir, cuando no hay fallos reportados por el sistema de control y alarma. Durante el funcionamiento normal, el agua residual circunviene el sistema regulador, y sólo cuando el sistema de control detecta un episodio inusual se llena el tanque regulador intermedio. Este dispositivo se utiliza en instalaciones de producción individuales, con una serie de corrientes de aguas residuales seleccionadas, y con la cantidad total de aguas residuales. El volumen requerido es normalmente muy inferior al del regulador autocontenido antes mencionado.



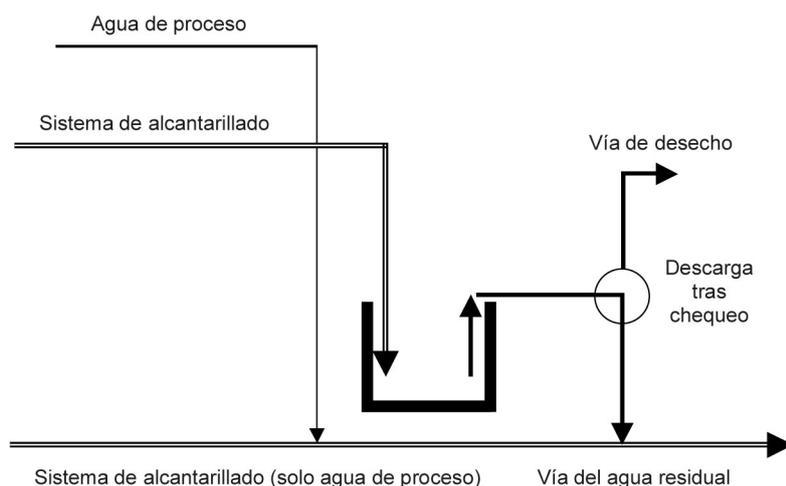
**Figura 3.2. Regulador intermedio conectado, inundado discontinuamente**

El regulador intermedio inundado continuamente puede también utilizarse como tanque de ecualización o de equilibrado de caudal. Un sistema de control y alarma debe asegurar que la salida a la PTAR se cierre inmediatamente en caso de un episodio inusual. La capacidad del tanque debe ser suficiente para recibir toda el agua residual entrante hasta que se solucione el fallo, por lo que este sistema puede ser sólo recomendable para corrientes tributarias. Antes de que la operación pueda continuar con la entrada de agua residual rutinaria, el tanque debe vaciarse.



**Figura 3.3. Regulador intermedio conectado, inundado continuamente**

Hay otro sistema (ver Figura 3.4) adecuado para recibir y regular pérdidas por fugas, cuando las fugas se recogen en una alcantarilla separada. Esta alcantarilla se utiliza como sistema de desagüe para zonas exteriores potencialmente contaminadas, como por ejemplo instalaciones de producción o zonas de tanques. La capacidad del tanque corresponde a la mayor pérdida por fuga posible y la cantidad de agua de lluvia que pueda esperarse. Este sistema de regulador intermedio es aplicable a instalaciones con alcantarillas separadas para agua de proceso y desagüe de zonas de riesgo. Los episodios que pueden influenciar la corriente de agua de proceso no pueden ser controlados. Su ventaja es la capacidad de recoger las pérdidas por fugas en una forma concentrada que facilita su reciclaje.



**Figura 3.4: Sistema regulador intermedio de fugas**

### 3.3.4. Técnicas de postproducción (final de línea)

Para introducir un orden lógico en la descripción de las técnicas de tratamiento, se toma como referencia la relación entre contaminante y tecnología de tratamiento típica correspondiente, como se señala en la Sección 1.3.2.1 y se ilustra en la Figura 3.5.

El primer paso de tratamiento para aguas residuales y agua de lluvia – y con frecuencia también el paso final – es la separación de sólidos en suspensión y líquidos inmiscibles (en relación al agua) de la corriente de agua principal. Las técnicas de separación o clarificación son:

- Separación por gravedad [Desarenado (ver Sección 3.3.4.1.1), Sedimentación (ver Sección 3.3.4.1.2), Separación de aceite-agua (ver Sección 3.3.4.1.6)]
- Flotación por aire (ver Sección 3.3.4.1.3)
- Filtración [Filtración (ver Sección 3.3.4.1.4), Filtración por membrana (ver Sección 3.3.4.1.5)].

Se utilizan principalmente en combinación con otras operaciones, como primer o último paso de clarificación. Como primer paso, por ejemplo, protegen otras instalaciones de tratamiento contra daños, obstrucción o ensuciamiento por sólidos. Como paso final, eliminan los sólidos formados durante un proceso u operación de tratamiento anterior, o eliminan el aceite antes de tratamiento biológico ulterior. A menudo siguen técnicas de tratamiento aplicadas a contaminantes solubles, cuando se transfieren a sólidos. Se dan ejemplos más adelante en este capítulo.

El agua residual exenta de sólidos puede separarse en una parte biodegradable y otra no biodegradable, o pueden separarse los contaminantes responsables de la no biodegradabilidad antes de tratamiento adicional. Las técnicas de tratamiento para la parte de aguas residuales no biodegradables se basan en operaciones físicas y/o químicas, como:

- Precipitación / sedimentación / filtración (ver Sección 3.3.4.2.1)
- Cristalización (ver Sección 3.3.4.2.2)
- Reacciones químicas [Oxidación química (ver Sección 3.3.4.2.3), Oxidación con aire húmedo (ver Sección 3.3.4.2.4), Oxidación en agua supercrítica (ver Sección 3.3.4.2.5), Reducción química (ver Sección 3.3.4.2.6) e Hidrólisis química (ver Sección 3.3.4.2.7).
- “Filtración” con membrana (Nanofiltración y Ósmosis inversa (ver Sección 3.3.4.2.8)
- Adsorción (ver Sección 3.3.4.2.9)
- Intercambio iónico (ver Sección 3.3.4.2.10)
- Extracción (ver Sección 3.3.4.2.11)
- Destilación / rectificación (ver Sección 0)
- Evaporación (ver Sección 3.3.4.2.13)
- Desorción (ver Sección 3.3.4.2.14)
- Incineración (ver Sección 3.3.4.2.15).

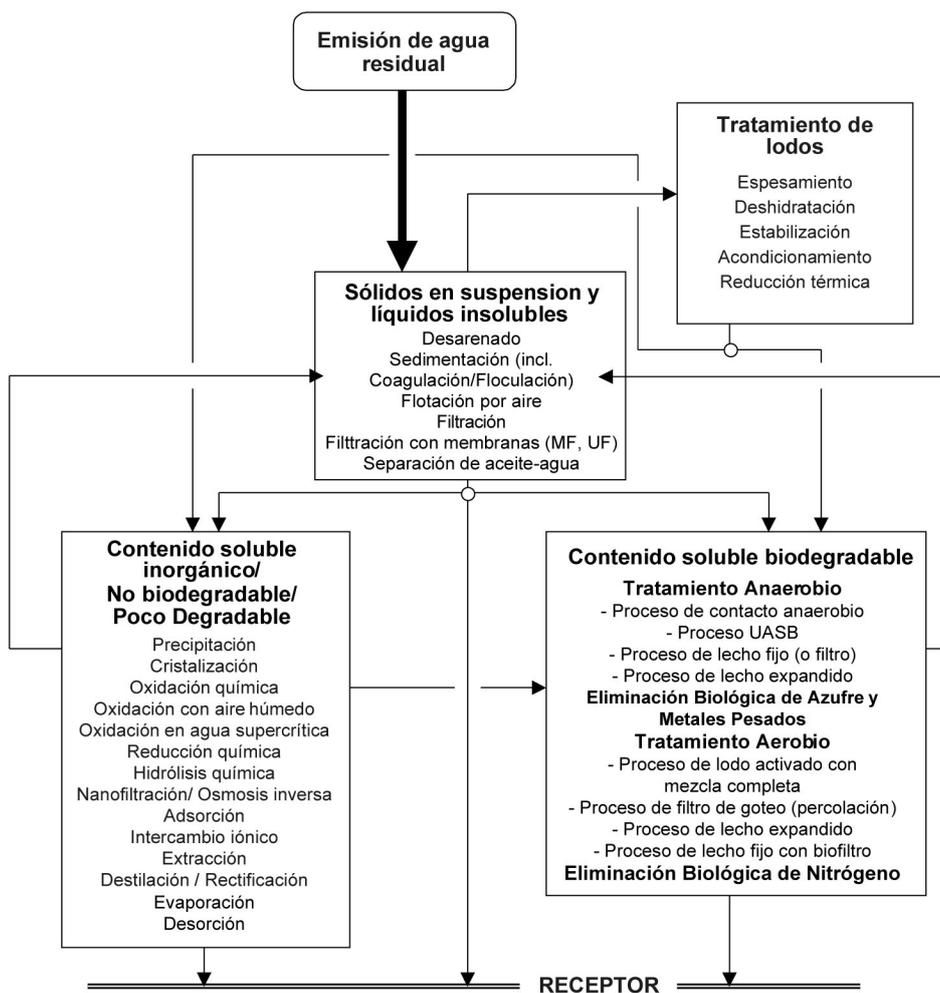


Figura 3.5. Gama de técnicas de tratamiento de aguas residuales en relación al tipo de contaminantes

Después de un tratamiento adecuado, la corriente de agua residual puede descargarse a un cuerpo acuoso receptor, a una planta central de tratamiento biológico de aguas residuales subsiguiente o a una EDAR municipal.

El agua residual biodegradable – o la parte de agua residual restante tras la eliminación de la causa de la no biodegradabilidad – normalmente es sometida a técnicas de tratamiento, centralizadas o descentralizadas, basadas en procesos biológicos, como:

- Digestión anaerobia [Proceso de contacto anaerobio (ACP), Proceso UASB, Proceso de lecho fijo, Proceso de lecho expandido (ver Sección 3.3.4.3.1) y Eliminación biológica de compuestos de azufre y metales pesados (ver Sección 3.3.4.3.2)]
- Digestión aerobia, [Proceso de lodo activado con mezcla completa, Proceso de biorreactor con membrana, Proceso de filtro de goteo, Proceso de lecho expandido, Proceso de lecho fijo con biofiltro (ver Sección 3.3.4.3.3)]
- Nitrificación / desnitrificación (ver Sección 3.3.4.3.4)
- Tratamiento biológico central de aguas residuales (ver Sección 3.3.4.3.5).

El agua residual degradada abandona la planta de tratamiento biológico y es conducida a una etapa de clarificación.

Muchas técnicas de tratamiento de aguas residuales requieren – o utilizan opcionalmente – auxiliares de tratamiento, que en muchos casos son compuestos químicos, o se requiere la regeneración de los medios / equipos de tratamiento, lo que puede causar la emisión de compuestos químicos. Estos auxiliares o pasos de proceso pueden generar, en general en función de las condiciones locales, una contaminación que debe tenerse en cuenta a la hora de considerar el uso de una técnica de tratamiento. Así, en determinadas situaciones puede ser necesaria una evaluación de los auxiliares de tratamiento y compuestos químicos emitidos de las instalaciones de regeneración, así como de su destino durante todo el proceso.

Casi todas las técnicas de tratamiento de aguas residuales tienen una cosa en común: la producción de sólidos durante el proceso, que permite separar el contaminante del medio acuoso, como exceso de lodo activado o residuo filtrado o sedimentado de operaciones de filtración. Si el lodo no se recicla, necesita ser desechado –por ejemplo mediante tratamiento o desecho externo– o tratarse in situ. Las técnicas de tratamiento de lodo son, por ejemplo:

- Espesamiento (ver Sección 3.4.1)
- Deshidratación (ver Sección 3.4.1)
- Estabilización (ver Sección 3.4.2)
- Acondicionamiento (ver Sección 3.4.2.)
- Reducción térmica del lodo (ver Sección 3.4.3).

### 3.3.4.1. Contaminantes insolubles / Separación mecánica

El contenido insoluble de las aguas residuales de la industria química puede consistir en sustancias inertes, como polvo del desagüe de agua de lluvia o arena (como relleno en materias primas como la cal). Sin embargo, también puede contener materias peligrosas como metales pesados y sus compuestos, que se originan en procesos de precipitación de operaciones de tratamiento anteriores o procesos de producción que utilizan catalizadores. Incluso puede haber dioxinas adsorbidas sobre el contenido sólido (ej. catalizador de producción de cloruro de vinilo por oxícloración). Por otra parte, los contaminantes insolubles no tienen que ser necesariamente partículas sólidas. Líquidos inmiscibles con agua, como aceites, sustancias de consistencia aceitosa, grasa y coloides pertenecen asimismo a esta categoría. En aguas residuales que contienen contaminantes insolubles, normalmente hay que eliminarlos por los procesos de separación descritos a continuación.

#### 3.3.4.1.1. Desarenado

##### Descripción

El desarenado es la eliminación de arena del agua de lluvia. Para este fin se utilizan desarenadores, ya que de lo contrario la arena podría depositarse en lugares inconvenientes, perturbando el proceso de tratamiento y produciendo una rápida abrasión en las bombas.

Los desarenadores son parte de la EDAR y normalmente están situados inmediatamente después del tamiz como protección contra material grueso y fibroso. Están diseñados para trabajar al flujo horizontal requerido (unos 0,3 m/s) de modo que sólo se separe la arena, mientras que los sólidos más ligeros son transportados con la corriente de agua residual.

Hay tres tipos distintos de desarenadores [cww/tm/132]:

- Desarenador de flujo horizontal en forma de canal, que mantiene al caudal requerido en combinación con un canal venturi, adecuado para corrientes de aguas residuales con grandes fluctuaciones (Figura 3.6) [cww/tm/132].

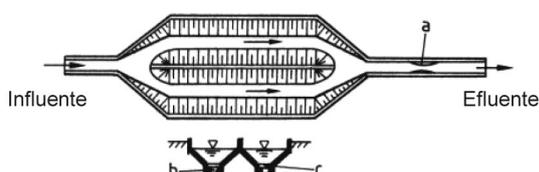
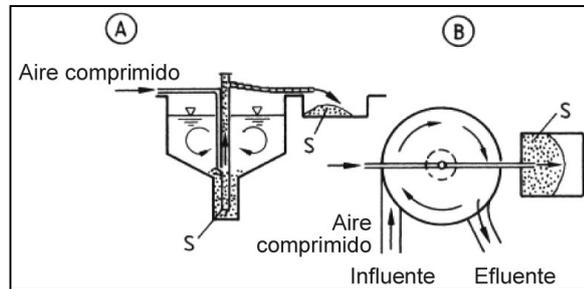


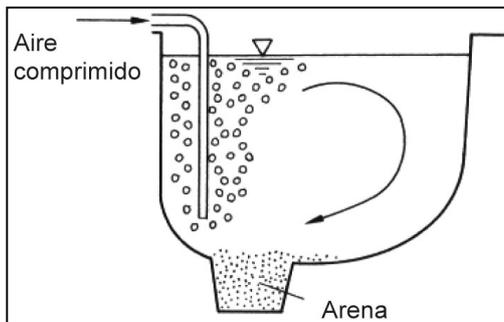
Figura 3.6: Desarenador de flujo horizontal en forma de canal

- Desarenador circular, en la que el agua se introduce tangencialmente, haciendo que el contenido circule y la arena sea desplazada al centro, para ser eliminada por un extractor por chorro de aire; este desarenador es menos adecuado para caudales con grandes fluctuaciones (Figura 3.7) [cww/tm/132].



**Figura 3.7.**  
**Desarenador circular**

- Cámara aireada, en la que la circulación del contenido es causada por inyección de aire en un modo que consigue el caudal requerido en el fondo de la cámara; este tipo de cámara no causa problemas con caudales fluctuantes (Figura 3.8) [cww/tm/132].



**Figura 3.8.**  
**Desarenador aireado**

Se requieren instalaciones de almacenaje para la arena separada hasta su descarga.

### Aplicación

Los desarenadores se utilizan cuando la EDAR también tienen que tratar agua de lluvia, que normalmente arrastra una cantidad considerable de arena [cww/tm/132].

Límites de aplicación y restricciones:

	Límites / restricciones
Caudal	Se requiere un caudal de unos 0,3 m/s para asegurar que sólo se separe arena
Fluctuación de caudal	Restricciones en caudales, según el tipo de desarenador

### Ventajas y desventajas

No es un equipo relevante – esencial.

### Niveles de emisión / Índices de eficacia alcanzables

Los desarenadores no se instalan por motivos de protección ambiental, sino como protección para los equipos situados corriente abajo.

### Efectos sobre otros medios

La arena separada debe ser descargada o utilizada en otro modo, según su contaminación.

Se consume energía eléctrica para las bombas de agua residual y el chorro de aire.

El desarenador, al ser parte de la EDAR, contribuye a las emisiones de ruido y olor de la planta principal, según el tipo de aguas residuales tratadas. Puede ser necesario aislar el equipo.

### Monitorización

Debe controlarse el caudal necesario de agua residual de 0,3 m/s.

#### 3.3.4.1.2. Sedimentación de sólidos

### Descripción

La sedimentación –o clarificación– implica la separación de partículas en suspensión y del material flotante mediante sedimentación por gravedad. Los sólidos sedimentados se separan luego en forma de lodo del fondo, mientras que el material flotado es separado por desespumado de la superficie del agua. Cuando las partículas no pueden separarse por medios gravitatorios simples, por ejemplo cuando son muy pequeñas, su densidad es demasiado próxima a la del agua o forman coloides, se agregan compuestos químicos especiales para hacer que los sólidos sedimenten, por ejemplo:

- Sulfato de aluminio (alumbre)
- Sulfato férrico
- Cloruro férrico
- Cal
- Policloruro de aluminio
- Polisulfato de aluminio
- Polímeros orgánicos catiónicos.

Estos compuestos químicos causan la desestabilización de las partículas coloidales y de pequeño tamaño en suspensión (ej. arcilla, hierro, metales pesados, colorantes, sólidos orgánicos, aceite en el agua residual) y emulsiones que atrapan sólidos (coagulación) y/o la aglomeración de tales partículas en floculos lo bastante grandes para sedimentar (floculación). En el caso de la floculación, también se utilizan polímeros aniónicos y no aniónicos.

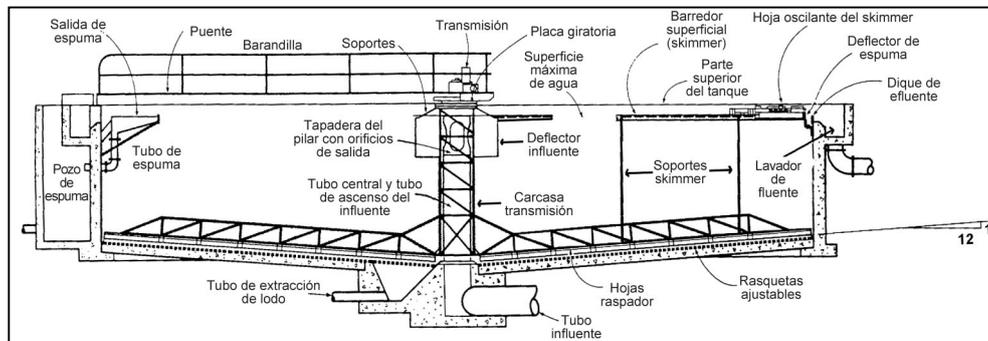
La influencia de la coagulación se muestra como ejemplo en la Tabla 3.2 [cww/tm/27]. No obstante los niveles de eliminación de esta tabla no deben confundirse con los niveles de eficacia alcanzables de una técnica de tratamiento.

**Tabla 3.2.**  
**Eliminación de contaminantes de aguas residuales a través de la coagulación**

Sustancia	Eliminación [%]
Mercurio inorgánico	70
Cadmio y compuestos	98
DDT [1,1,1-tricloro-2,2-bis-(p-cloro-fenil)etano]	75-80
HCB (hexaclorobenceno)	59
Aldrina	100
Dieldrina	50
Endrina	43
PCB (bifenilos policlorados)	30-40
Compuestos de tributilestaño	>90
Tricloroetano	36
Percloroetano	30

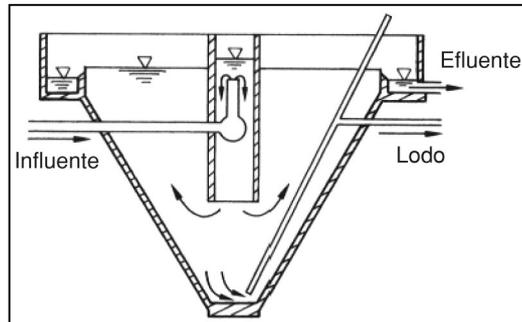
Los sedimentadores que se utilizan comúnmente son:

- Tanques de sedimentación o planos, rectangulares o circulares, ambos equipados con un raspador apropiado y del tamaño apropiado para proporcionar un tiempo de residencia necesario de entre 1½ y 2½ horas (ver Figura 3.9 como ejemplo de tanque circular [cww/tm/4])



**Figura 3.9. Tanque de sedimentación**

- Tanque con fondo en tolva, con flujo vertical, normalmente no equipado con sistema mecánico de eliminación de lodo (ver Figura 3.10 [cww/tm/132])



**Figura 3.10. Tanque con fondo en tolva**

- Sedimentadores de láminas o tubos, en los que se utilizan láminas o placas para aumentar la superficie de sedimentación (ver Figura 3.11 [cww/tm/91]).

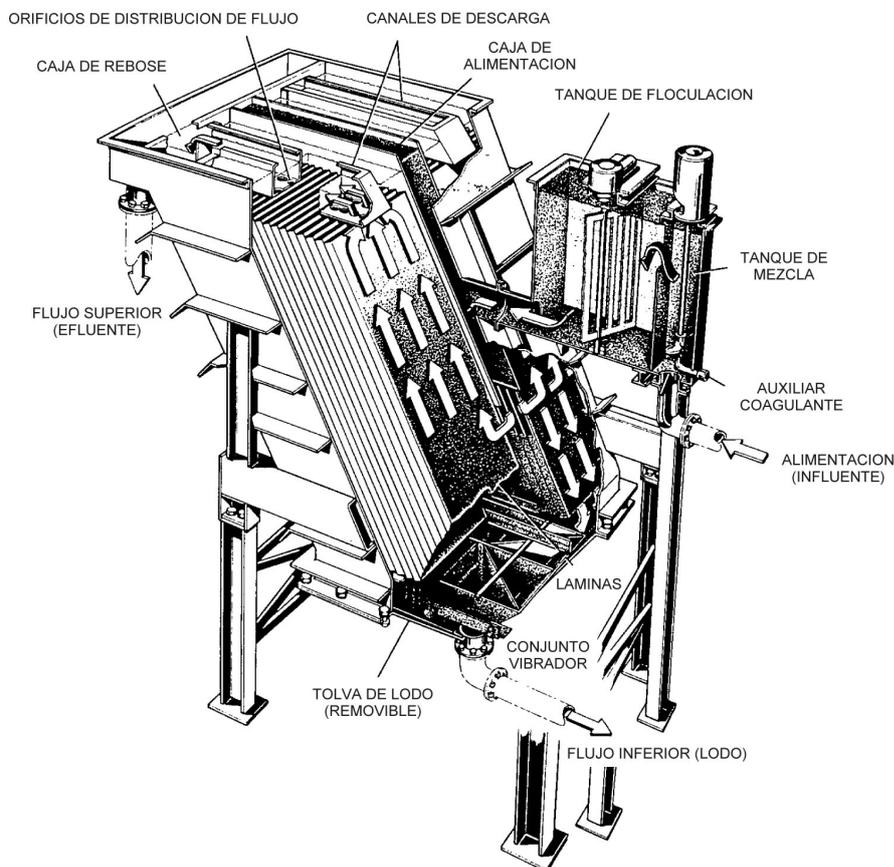
El equipo de coagulación y/o floculación se instala como parte del tanque. La necesidad de una rápida mezcla en la coagulación se cubre mediante:

- Dosificación simultánea de coagulantes a través de puntos de inyección múltiples.
- Preferencia de sistemas de flujo tipo tapón, cuando sea aplicable.
- Mezcladora intensiva (flash mixer) o sistema de mezcla en la que el coagulante se agregue antes de o en la mezcladora intensiva, mezcladoras estáticas u orificios.

Para floculación, se agrega una cámara de mezcla. Se utilizan mezcladoras de láminas en pico o de baja velocidad, que producen la mezcla hidráulica con el líquido a medida que fluye a través del tanque. El reciclaje parcial del floculo de vuelta al floculador puede producir una mejor estructura del floculo y una óptima explotación del floculante.

Para asegurar una operación óptima de sedimentación, normalmente se instala corriente arriba una etapa de separación de aceite o de descomposición de emulsiones, etc., con el fin de eliminar las sustancias que pueden interferir.

El equipo de las instalaciones de sedimentación necesita ser de tal tipo que no haya transferencia de agua residual al suelo, al menos cuando el tanque pueda contener sustancias peligrosas para el agua subterránea. Las instalaciones de almacenaje para los compuestos químicos de coagulación / floculación y el lodo de sedimentación deben estar equipadas para adaptarse a las características del lodo.



*Figura 3.11. Sedimentador de láminas o tubos*

### Aplicación

La sedimentación es una técnica de separación ampliamente usada para muchos fines y que normalmente no se utiliza en solitario. Los principales ejemplos son:

- Clarificación del agua de lluvia recogida de su contenido de sólidos, como arena o polvo, en un tanque de sedimentación.
- Clarificación del agua residual de proceso de su contenido inerte, como arena o partículas comparables.
- Clarificación del agua de proceso de material de reacción emulsionado, como compuestos metálicos emulsionados, polímeros y sus monómeros, mediante la adición de los compuestos químicos apropiados.
- Separación de metales pesados u otros compuestos disueltos tras una precipitación previa (ver Sección 3.3.4.2.1), a menudo con apoyo químico, seguido al final de procesos de filtración (ver Secciones 3.3.4.1.4 y 3.3.4.1.5)
- Eliminación de lodo activado en un clarificador primario o secundario de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales (ver Sección 3.3.4.3.5), a menudo con apoyo químico.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Tamaño de partícula	Las partículas deben ser bastante grandes para ser sedimentables, de lo contrario hay que aplicar agentes de coagulación y/o floculación.
Presencia de sustancias volátiles	Hay que evitar las sustancias volátiles debido al largo tiempo de residencia en el tanque (así como la acción de mezcla cuando se utiliza coagulación y/o floculación) y por tanto la emisión potencial de COV.
Concentración de sólidos	Sin límite, siempre que la fase acuosa siga siendo separable.
pH (en caso de coagulación / floculación)	El rango de pH controlado es esencial durante la operación, de lo contrario la clarificación será insuficiente.
Emulsiones	Las emulsiones estables no pueden separarse y romperse por coagulación / floculación; se requiere la rotura previa de la emulsión.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicidad de la instalación, con lo que se evitan fallos.</li> <li>• La eficacia de eliminación puede aumentarse mediante la adición de agentes de coagulación y/o floculación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poco adecuada para materiales finos y emulsiones estables, incluso con coagulantes y floculantes.</li> <li>• El flóculo puede contener otros contaminantes que pueden causar problemas a la hora de desechar el lodo.</li> </ul>

### Niveles de emisión / Niveles de eficacia alcanzables

Cuando la sedimentación se utiliza corriente arriba de pasos de tratamiento subsiguientes, su finalidad es proteger las instalaciones posteriores, por lo que su eficacia de eliminación debe ser lo bastante alta para ello. Cuando se utiliza como tratamiento final, su eficacia depende de las propiedades de las partículas a eliminar.

Los niveles de emisión alcanzables reportados son:

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
SST	60–90		Después del clarificador final de una PTAR central
		<10 <sup>1</sup>	
Sólidos sedimentables	90–95		
Metales pesados			En forma de partículas, ver Sección 3.3.4.2.1

<sup>1</sup> [cww/tm/67c]

SST puede también incluir partículas orgánicas, es decir, la sedimentación reducirá asimismo el nivel de COT / DQO, mientras esté presente como material sólido insoluble. Su eficacia de eliminación, no obstante, depende de la proporción de TOC sólidos en el total de TOC.

### Efectos sobre otros medios

El lodo sedimentado y la espuma eliminada de la superficie, si no son adecuados para reciclaje o reutilización, deben ser desechados como residuo. Según el origen del agua residual, este residuo puede contener componentes peligrosos que deben ser tratados de un modo adecuado. Estos compuestos pueden ser carbo-

atos, fluoruros, sulfuros o hidróxidos (u óxidos) de metales pesados, espuma aceitosa, etc., y en determinadas circunstancias incluso dioxinas.

Las fuentes de ruido son las bombas, que pueden aislarse, y el sistema de eliminación de lodo / espuma. Cuando el agua residual contiene sustancias olorosas, puede ser necesario cubrir el tanque de sedimentación o al menos la unidad de coagulación o floculación – y conducir el gas residual emitido, si es necesario, a un sistema de tratamiento. El equipo necesario – conductos y ventilaciones – probablemente debe estar provisto de un sistema de seguridad apropiado, por ejemplo un sistema de circulación de gas con nitrógeno presurizado, para evitar el riesgo de explosión.

Los consumibles pueden ser:

Consumible	Cantidad
Agentes químicos (coagulante / floculante) <sup>a</sup>	53–93 [kg/t aceite, sólido] <sup>1</sup>
	0,5–100 [g/m <sup>3</sup> agua residual] <sup>2</sup>
Energía eléctrica [kW] <sup>b</sup>	0,5–1,5
Nitrógeno para atmósfera inerte	
<sup>a</sup> Polímero orgánico	
<sup>b</sup> Para un diámetro de tanque de 25–35 m	
<sup>1</sup> [cww/tm/96]	
<sup>2</sup> [cww/tm/128]	

### Monitorización

Hay que monitorizar regularmente el efluente en cuanto a contenido de sólidos, sólidos sedimentables o turbidez. Cuando se utilizan agentes químicos (ej. coagulantes, floculantes) para mejorar el proceso de sedimentación, debe controlarse el pH como parámetro operativo principal.

### Economía

	Costes de inversión [millones]	Costes operativos
Tanque de sedimentación	1,2 EUR <sup>a</sup>	
	4,8 BEF <sup>b 1</sup>	
Sedimentador laminar o de tubos <sup>1</sup>	4 BEF <sup>c</sup>	20–100 BEF por m <sup>3</sup>
<sup>a</sup> por 1000 m <sup>3</sup> de volumen de tanque		
<sup>b</sup> capacidad de m <sup>3</sup> /h		
<sup>1</sup> [cmm/tm/128]		

#### 3.3.4.1.3. Flotación por aire

### Descripción

La flotación es un proceso por el cual las partículas sólidas o líquidas son separadas de la fase de agua residual mediante su fijación a burbujas de aire. Las partículas flotantes se acumulan en la superficie del agua y se recogen con desespumadores [cww/tm/4].

Los aditivos de floculación, como sales de aluminio y férricas, sílice activado y diversos polímeros orgánicos, se utilizan comúnmente para apoyar el proceso de flotación. Su función, además de la coagulación y floculación, es crear una superficie o estructura capaz de absorber o atrapar las burbujas de aire.

Existen tres métodos de flotación, que se distinguen por el modo en que se agrega el aire:

- Flotación por vacío, en la que se disuelve aire a presión atmosférica, y a continuación se aplica una caída de presión para permitir la formación de burbujas.

- Flotación inducida por aire (IAF), en la que se aspiran burbujas finas al agua residual a través de un dispositivo de inducción como un venturi o una placa de orificios.
- Flotación por aire disuelto (DAF), en la que se disuelve aire presurizado (0,4–0,8 MPa, o 1,0–1,2 MPa para compuestos de aluminio) en el agua residual – o en parte de toda el agua residual – y posteriormente se libera para formar pequeñas burbujas.

En la Figura 3.12 [cww/tm/4] se muestra un dispositivo típico de DAF.

Según el contenido del agua residual, puede ser necesario cubrir la balsa de flotación y conducir el aire de escape a un dispositivo de eliminación de gas. Se requieren instalaciones para almacenar los agentes floculantes / coagulantes y la materia separada por desespumación.

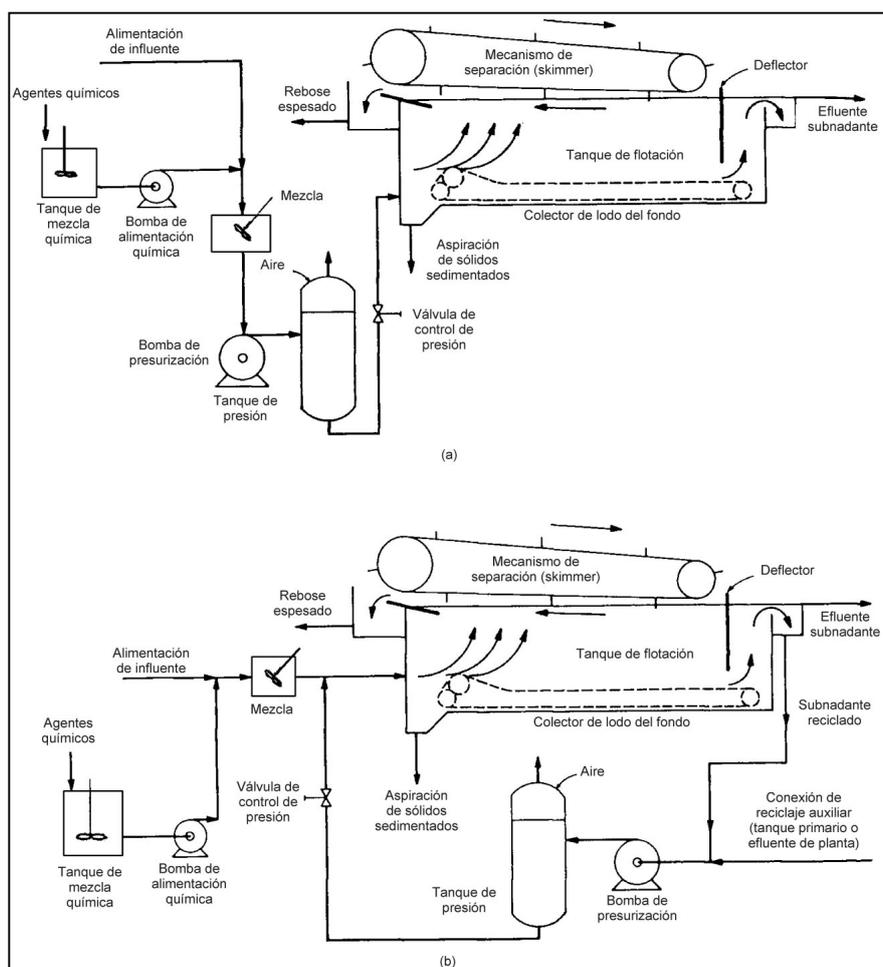


Figura 3.12. Sistema de DAF: a) con Reciclaje, b) sin Reciclaje

### Aplicación

La flotación se aplica cuando la sedimentación no es apropiada, por ejemplo cuando:

- Las partículas tienen malas características de sedimentación (sin embargo, en el caso de un mal índice volumétrico del lodo (SVI), no hay ventaja sobre la sedimentación)
- La diferencia de densidad entre las partículas suspendidas y el agua residual es demasiado baja.
- Hay restricciones de espacio en el complejo.
- Es necesario eliminar aceite y grasa.

Son ejemplos de su uso:

- En refinerías y complejos petroquímicos, como tratamiento subsiguiente corriente abajo de la separación de aceite y antes de una EDAR biológica.
- Eliminación de colorantes y pigmentos del agua residual de su producción correspondiente.
- Recuperación de producto o materia prima, por ejemplo tolueno de emulsiones de tolueno / agua [cww/tm/132], haluros de plata de la producción de compuestos químicos para fotografía, butiltión o polisilanos de corrientes de aguas residuales.
- Separación de metales pesados del agua residual.
- Separación de lodo activado del tratamiento biológico de aguas residuales, después de la clarificación final [cww/tm/67b] o en sustitución de la misma.
- Espesamiento del lodo activado de una EDAR biológica.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / Restricciones
Presencia de sustancias	Los detergentes espumantes deben ser excluidos.
Aceite	Aunque es muy eficaz para eliminar el aceite libre del agua, no puede manejar aceite libre en grandes cantidades.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos volumen y por lo tanto menores costes de inversión que con la sedimentación.</li> <li>• La eficacia de eliminación no se ve afectada por cambios en el caudal, lo que la hace superior a la sedimentación, ver Figura 3.13 [cww/tm/132]</li> <li>• Posibilidad de recuperación de materias.</li> <li>• Alta eficacia de separación, mayor contenido de materia seca que en la sedimentación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las válvulas pueden obstruirse.</li> <li>• Alto potencial de emisión de olores, por lo que suele requerir cobertura.</li> <li>• Costes operativos más elevados que en la sedimentación.</li> </ul>

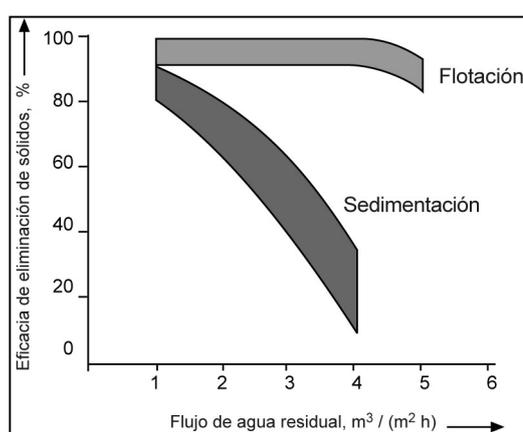


Figura 3.13. Comparación de la eficacia de separación de la DAF con la de la Sedimentación <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Contenido de insolubles 90 – 450 mg/l, adición de agua presurizada para flotación 20 %

Niveles de emisión / Índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
SST	90–98		Ver Figura 3.13
	85–96 <sup>1</sup>	10–20 <sup>1</sup>	Lodo activado después del clarificador final, entrada 20–250 mg/l
Aceite		10–20 ppm <sup>2</sup>	Refinería, tratamiento con IAF y DAF
		2–10 <sup>3</sup>	Producción química, tras varios API
Sulfuros metálicos	95 <sup>2</sup>		Refinería, tratamiento con IAF y DAF
<sup>1</sup> [cww/tm/67b] <sup>2</sup> [cww/tm/131] <sup>3</sup> [cww/tm/93]			

DQO/COT se eliminan en la medida en que están presentes como sólidos o suspensión de gotas.

Efectos sobre otros medios

El material separado, si no es reciclable, se desecha como residuo. Las cantidades dependen de la materia a eliminar y de la cantidad de agentes coagulantes y floculantes. Pueden variar bastante, según la aplicación que se haga de la flotación por aire.

Los consumibles son:

Consumible	Tratamiento por DAF de lodo activado <sup>1</sup>	Flotación por aire para aguas residuales de refinería <sup>2</sup>
Aire comprimido <sup>a</sup>	0,53–0,55	
Dosis de floculante mg/l <sup>b</sup>	0,6–1,2	3,7
kg/t <sup>c</sup>	2,4–4,7	53–93
Energía [kWh/1000 m <sup>3</sup> ]	20,6	
<sup>a</sup> expresado como aire comprimido en relación con agua presurizada [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ] <sup>b</sup> concentración de floculante en agua residual <sup>c</sup> cantidad de floculante en relación con la masa de sólidos en suspensión en el agua residual <sup>1</sup> [cww/tm/67b] <sup>2</sup> [cww/tm/96]		

Las fuentes de ruido son las bombas, la mezcladora y el compresor, que deben equiparse con medidas adecuadas de contención de ruido.

La emisión de olores u otras sustancias volátiles – si cabe esperarlas – pueden evitarse cubriendo el recipiente o trabajando en un tanque cerrado y conduciendo el aire de escape a un sistema de eliminación de gas.

Monitorización

Para asegurar un funcionamiento fiable, debe monitorizarse la turbidez del efluente, por si presenta perturbaciones. La producción de espuma debe detectarse con prontitud. La detección de los niveles de DQO/COT y SST en el efluente es obligatoria.

## Economía

Los costes de una unidad de flotación varían ampliamente, según la finalidad:

	<b>Caudal [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Costes de inversión [millones]</b>	<b>Costes operativos anuales [miles]</b>
DAF / lodo activado <sup>1</sup>	1200	DEM 5.0	DEM 800
DAF / refinería <sup>2</sup>	300–800	EUR 1,6–1,8	EUR 20–130
IAF / refinería <sup>2</sup>	400–820	EUR 0,5–2,1	EUR 55–130
DAF / como tratamiento final descentralizado <sup>3</sup>	50		4500 DEM
DAF <sup>4</sup>	100 m <sup>3</sup> /h 100 m <sup>3</sup> /día	40 BEF 4 BEF	

<sup>1</sup> [cww/tm/67b] incl. costes de inversión, diseño de ingeniería, obras de ingeniería civil, preparación del complejo, etc.

<sup>2</sup> [cww/tm/48]

<sup>3</sup> [cww/tm/132] costes operativos totales, incl. compuestos químicos para neutralización, precipitación y floculación, deshidratación del flotado, incineración de lodo.

<sup>4</sup> [cww/tm/128]

Los costes indicativos de inversión y operativos para una planta de DAF se facilitan en relación al caudal. Aunque estos valores no están muy cerca de las cifras reales, estiman el grado de incremento de los costes al aumentar el tamaño de la planta [cww/tm/92]:

<b>Caudal [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Costes de inversión [millones de GBP]</b>	<b>Costes operativos anuales [miles de GBP]</b>
10	0,1	10
100	0,1	20–30
1000	0,5	50–80
10000	1,0	500–800

El coste de la flotación, que es la técnica más utilizada para separación sólido-sólido en el tratamiento de aguas residuales, es inferior al de la evaporación o incineración (en un factor de aproximadamente 10). Sin embargo las ventajas de la evaporación y la incineración son mayores, ya que producen el desecho completo de aguas residuales muy contaminadas, mientras que los procesos de precipitación y flotación consiguen el tratamiento sólo parcial de una corriente separada moderadamente contaminada. Dado que el valor de este tratamiento parcial es también objeto de una cierta controversia, sigue siendo una cuestión sin resolver si es inteligente gastar 10 DEM por metro cúbico de agua residual (o 4,5 millones de DEM al año para una corriente de agua residual tributaria de 50 m<sup>3</sup>/h) como costes operativos para el pretratamiento de una corriente que comprende sólo una pequeña fracción la cantidad total de agua residual de una planta química grande [cww/tm/132].

Comparada con la sedimentación, la flotación ofrece ventajas considerables en muchos casos, no sólo en el tratamiento de agua y la recuperación de materiales valiosos, sino también en la separación y espesamiento de lodo. Por regla general, esto conduce a un contenido de materia seca más alto del concentrado resultante. Debido a los índices de carga hidráulica más elevados y tiempos de residencia más cortos, también se requieren volúmenes de aparato más pequeños. Esto, por su parte, generalmente supone menores costes de inversión, aunque a costa de costes operativos más altos. Una comparación puede dar unos requisitos de espacio para la sedimentación 50 veces mayores que para la flotación. Por otra parte, los costes de energía para floculación / flotación pueden ser unas 50 veces mayores que para floculación / sedimentación. Existen mejores oportunidades con la flotación que con la sedimentación para el control y adaptación a condiciones de funcionamiento fluctuantes, aunque el aprovechamiento de estas oportunidades requiera la disponibilidad de personal con mucha mayor formación [cww/tm/132].

### 3.3.4.1.4. Filtración

#### Descripción

La filtración describe la separación de sólidos de efluentes de aguas residuales que pasan por un medio poroso. Los filtros normalmente requieren una operación de limpieza –lavado a contracorriente– con circulación inversa de agua fresca, y el material acumulado es devuelto al tanque de sedimentación (Sección 3.3.4.1.2).

Los tipos de sistemas de filtro utilizados comúnmente son, por ejemplo:

- El filtro granular medio, o filtro de arena, que se utiliza ampliamente como dispositivo de tratamiento de aguas residuales (el medio de los filtros de arena no tiene que ser literalmente arena), que se utilizan principalmente con un contenido de sólidos bajo.
- El filtro de tambor por gravedad, utilizado para el tratamiento de aguas cloacales y la eliminación de flóculos de lodo activado, cuya eficacia depende del tejido que hace de tamiz.
- Filtro de vacío rotatorio, adecuado para filtración pre-recubrimiento, que se utiliza para la deshidratación del lodo aceitoso y el desmenuzamiento de salpicaduras.
- Filtro de membrana (ver Sección 3.3.4.1.5).
- La prensa de filtro con correa, que se utiliza ampliamente para deshidratación de lodo, aunque también para operaciones de separación líquido / sólido
- Prensas de filtro, que se utilizan normalmente para deshidratación de lodo, aunque también para operaciones líquido / sólido, adecuadas para un alto contenido de sólidos.

Los filtros de arena consisten en un lecho filtrante de gránulo medio con flujo descendente o ascendente. El lecho filtrante puede ser mono o multimedio. La operación puede ser semicontinua – la filtración y el lavado a contracorriente se realizan secuencialmente – o continua – la filtración y el lavado a contracorriente se producen simultáneamente. La principal diferencia entre los dos modos de operación es:

- Los filtros de arena de operación semicontinua se utilizan hasta el paso de la turbidez, cuando el contenido de sólidos en el efluente comienza a aumentar, o hasta un límite de pérdida de carga.
- Los filtros de arena de operación continua no tienen paso de turbidez o límite de pérdida de carga.

Los filtros de arena funcionan por la fuerza de la gravedad o mediante la fuerza de una presión aplicada. En la Figura 3.14 [cww/tm/4] se dan ejemplos de un filtro convencional multimedio de flujo gravitatorio descendente, y en la Figura 3.15 [cww/tm/4] del filtro de presión.

Los filtros de tambor consisten en un cilindro que envuelve la superficie de filtración. Se utilizan como un filtro de tambor gravitatorio que puede cargarse en su interior o exterior, o como un filtro de vacío rotatorio con el interior o exterior del tambor hermético y conectado a una bomba de vacío. La torta del filtro se extrae del tambor por distintos medios. En la Figura 3.16 [cww/tm/132] se da un ejemplo.

La prensa de filtro con correa y la prensa de filtro como instalaciones típicas de deshidratación de lodos se describen en la Sección 3.4.1.

Los medios filtrantes pueden caracterizarse atendiendo a criterios como [cww/tm/132]:

- Tamaño de corte, es decir, el tamaño de partícula que justo puede pasar por el medio filtrante.
- Permeabilidad, la permeabilidad elevada se caracteriza por una baja caída de presión.
- Estabilidad química con respecto al filtrado.
- Tendencia al bloqueo, particularmente cuando se producen tortas en los tejidos de filtración.
- Resistencia mecánica en relación a las cargas impuestas por el soplado a contracorriente o el movimiento de tejidos filtrantes.
- Superficie lisa para facilitar la eliminación de las tortas.

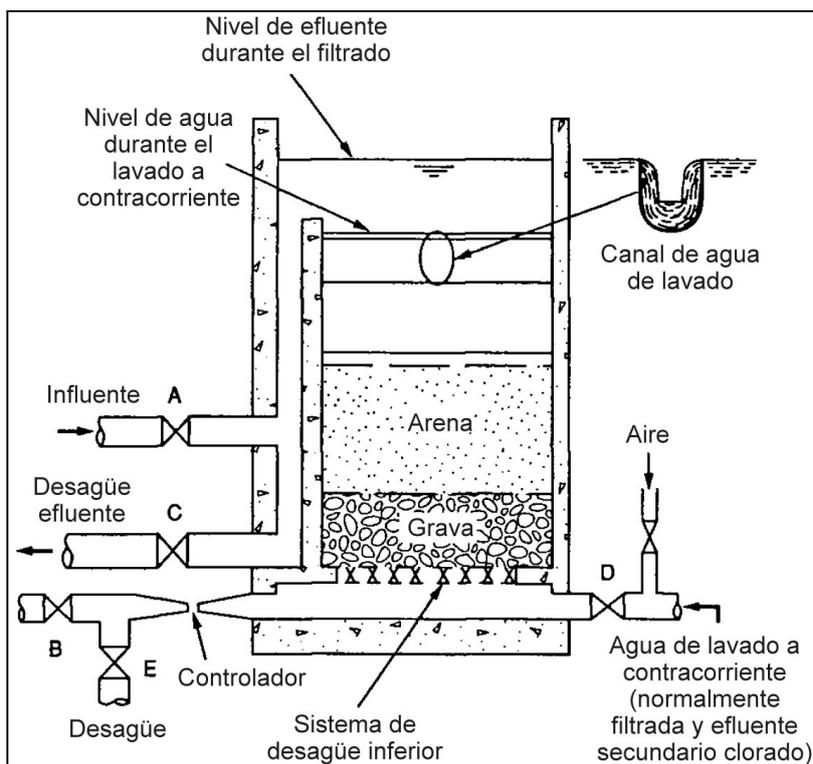


Figura 3.14. Filtro de arena multimedio convencional con flujo descendente

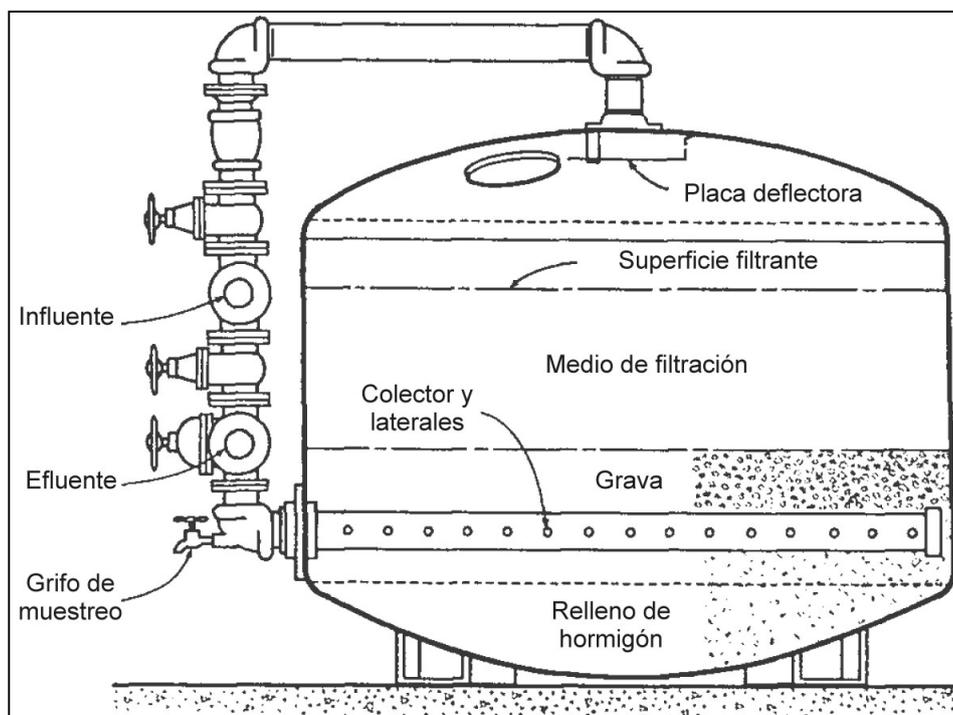


Figura 3.15. Filtro de presión

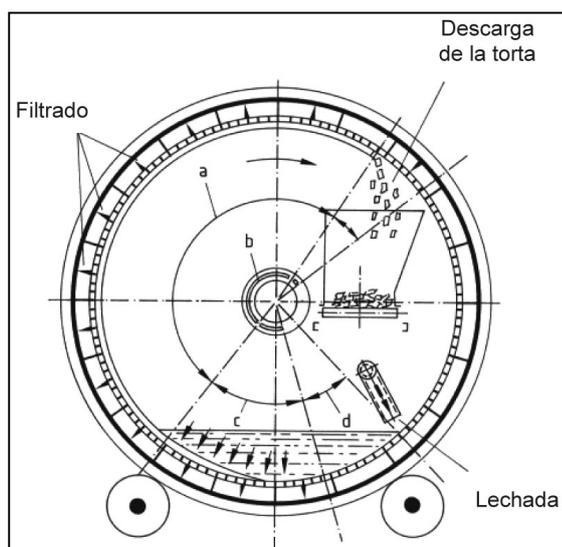


Figura 3.16: Filtro de vacío rotatorio

- a) Zona de deshidratación,
- b) Válvula rotatoria,
- c) Zona de sedimentación,
- d) Zona de aspiración

Las suspensiones, compuestas por sólidos relativamente finos, blandos o compresibles, llenan o bloquean el medio filtrante, a menos que este bloqueo se evite mediante auxiliares de filtración, como material granular inerte fácilmente filtrable. Estos auxiliares de filtración forman una capa permeable al filtrado y al mismo tiempo realizan las funciones de una torta de filtro suelta. Las partículas retenidas se depositan en el auxiliar de filtro. Son ejemplos de auxiliares de filtración [cww/tm/132]:

- Tierras diatomáceas
- Perlitas
- Tierras de Fuller
- Vidrio en polvo
- Preparaciones de carbón
- Fibras de celulosa
- Pasta de madera
- Pasta de papel
- Bagazo
- Talco
- Plásticos.

Los auxiliares de filtración se utilizan en pre-recubrimiento, es decir, se deposita una capa de auxiliar de filtración sobre el medio filtrante antes de que comience la filtración. Durante la filtración, se agrega continuamente a la lechada para mantener la proporción necesaria para una filtración adecuada y eficaz.

### Aplicación

En el tratamiento de aguas residuales, la filtración se utiliza con frecuencia como la etapa de separación final después de procesos de sedimentación (ver Sección 3.3.4.1.2) o flotación (ver Sección 3.3.4.1.3), si se desea conseguir bajas emisiones de partículas, por ejemplo:

- Separación de flóculos, hidróxidos de metales pesados, etc. tras la sedimentación, para cumplir los requisitos de evacuación.
- Eliminación de lodo activado después de la EDAR central, además de la sedimentación, para mejorar la calidad del efluente de aguas residuales tratadas biológicamente.
- Deshidratación de lodo, flotado, etc.
- Recuperación de aceite libre, con filtros de tambor giratorio y la ayuda de adición de polímeros.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Coloides, emulsiones	No pueden separarse sin tratamiento químico adicional
Sólidos finamente dispersos o limosos	Pueden bloquear el medio de filtrado, si no se utilizan auxiliares de filtrado.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevada eficacia de separación.</li> <li>Los contaminantes que no son sólidos suspendidos pueden eliminarse en ciertas circunstancias, como aceite.</li> <li>Operación en una amplia gama de condiciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los procesos de obstrucción y ensuciamiento son posibles con filtros de arena semicontinuos.</li> <li>Su ruptura puede causar contaminación adicional del efluente.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
SST		<10 mg/l	Flóculo de lodo activado
	50-99,99 <sup>1</sup>		Filtro de arena, dependiente de auxiliares de filtración
Aceite libre		<5 mg/l	
Metales pesados			Después de precipitación, ver Sección 3.3.4.2.1

<sup>1</sup> [cww/tm/128]

### Efectos sobre otros medios

Cuando se utiliza un filtro granular, por ejemplo un filtro de arena, el material lavado a contracorriente se recircula normalmente al proceso en el que se originó, por ejemplo el tanque de sedimentación o la balsa de lodo activado de la EDAR biológica. El residuo de otros tipos de filtros (filtro de tambor, filtro de correa, etc.) puede ser reciclado o debe ser descargado como residuo o ser sometido a tratamiento adicional.

La filtración con arena, como ejemplo de filtración de lecho profundo, implica un lavado a contracorriente menos frecuente que la filtración con torta (ej. filtración de correa o tambor) y por consiguiente un menor requisito de agua de lavado a contracorriente. Por este motivo, la filtración con torta sólo se aplica en casos excepcionales en el tratamiento de aguas residuales (ejemplos antes en este capítulo) [cww/tm/132].

Los consumibles son:

Consumible	Filtro de arena	Filtro de tambor
Agua para lavado a contracorriente		-
Agua para generación de vacío	-	
Auxiliares de filtración		
Energía [kWh/1000 m <sup>3</sup> ]		
Caída de presión		

El equipo en funcionamiento puede ser una fuente de ruido importante, que puede controlarse aislando las fuentes principales.

Si pueden emitirse sustancias olorosas, pueden ser necesarios dispositivos cerrados. Los filtros a presión y prensas filtrantes se colocan en recipientes cerrados, y el aire de escape es conducido a un sistema de eliminación de gas.

### Monitorización

Para asegurar una operación fiable, es necesario monitorizar la turbidez del efluente del filtro para reconocer perturbaciones, o una rotura en el caso del filtro de arena semicontinuo. Hay que registrar la caída de presión, que puede indicar obstrucción y expulsión.

### Economía

	Caudal [m³/h]	Costes de inversión [millones]	Costes operativos
Filtro de arena <sup>1</sup>	100	4 BEF	2/m³ BEF
<sup>1</sup> [cmm/tm/128]			

#### 3.3.4.1.5 Microfiltración y Ultrafiltración

##### Descripción

La Microfiltración (MF) y la Ultrafiltración (UF) son procesos de membrana que segregan un líquido que permea a través de una membrana separándose en permeado, que pasa la membrana, y concentrado, que queda retenido. La fuerza impulsora del proceso es la diferencia de presión a través de la membrana. Ambas son técnicas de filtración especiales y sofisticadas, ya mencionadas en el capítulo anterior.

Las membranas utilizadas para MF y UF son membranas de “tipo poroso” que operan como tamices. El disolvente y las partículas de tamaño molecular pueden pasar por los poros, mientras que las partículas en suspensión, partículas coloidales, bacterias, virus, e incluso macromoléculas de mayor tamaño, quedan retenidas.

Las características típicas se muestran en la Tabla 3.3

**Tabla 3.3.**  
**Características de la Microfiltración (MF) y Ultrafiltración (UF)**

Parámetro	Microfiltración	Ultrafiltración
Diámetro del poro [µm] <sup>1</sup>	0.1-1	0.001-0.1
Presión de operación [Mpa] <sup>2</sup>	0,02-0,5	0,2-1
Tamaño de corte [nm]	>100, incluye bacterias	10-100, incluye macromoléculas, virus, partículas coloidales 1000–100000 g/mol para soluciones
Flujo de permeado [l m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]	50–1000	<100
Velocidad de flujo transversal [m/s] <sup>2</sup>	2-6	1-6
Tipo de membrana <sup>3</sup>	Simétrica, polimérica o cerámica, 10–150 µm de grosor	Polimérica, o cerámica asimétrica
Configuración membrana <sup>3</sup>	Tubular con fibras huecas arrolladas en espiral	Tubular con fibras huecas arrolladas en espiral

<sup>1</sup> [cww/tm/27]

<sup>2</sup> [cww/tm/132]

<sup>3</sup> [cww/tm/93]

Las membranas para MF y UF se hallan disponibles en varios materiales y configuraciones. La modificación óptima para una aplicación particular dependerá de la naturaleza del agua residual, ya que los distintos materiales tienen resistencias variables a las sustancias disueltas. Los materiales de membrana para MF son, por ejemplo:

- Fibra de vidrio
- Policarbonato
- PVDF (fluoruro de polivinilideno)
- Acetato de celulosa
- Poliamida.

Los materiales adecuados para UF son normalmente polímeros orgánicos, como por ejemplo:

- Acetato de celulosa
- Poliamida
- Poliimida
- Policarbonato
- Cloruro de polivinilo
- Polisulfona
- Polietersulfona
- Poliacetal
- Copolímeros de acrilonitrilo y cloruro de vinilo
- Complejos polielectrolitos
- Cross-linking de alcohol polivinílico o poliacrilatos.

Las membranas de PVDF tienen la ventaja de que pueden limpiarse con ácidos fuertes, sosa cáustica y blanqueadores.

El proceso de filtro con membrana se realiza normalmente en flujo transversal, es decir, el flujo de permeado se dirige perpendicularmente al flujo de alimentación. Las impurezas se quedan en la alimentación que, reducida en volumen, sale del sistema de membrana como corriente residual concentrada.

Debe haber instalaciones de almacenaje para el concentrado.

### Aplicación

La filtración por membrana (MF y UF) se aplica cuando se desea un agua residual exenta de sólidos para instalaciones corriente abajo, por ejemplo de ósmosis inversa, o la eliminación completa de contaminantes peligrosos como metales pesados. La elección entre MF y UF depende del tamaño de partícula.

Son aplicaciones comunes de la MF [cww/tm/93; cww/tm/67a]:

- Procesos de desengrase
- Recuperación de partículas de metales
- Tratamiento de aguas residuales por metaloplastia
- Separación de lodo tras proceso con lodo activado en una EDAR biológica, en sustitución de un clarificador secundario (proceso de membrana activada), aunque también puede usarse UF.

Son aplicaciones comunes de la UF:

- Eliminación de contaminantes degradables no tóxicos como proteínas y otros compuestos macromoleculares y componentes tóxicos no degradables, como colorantes y pinturas, con pesos moleculares superiores a 1000.
- Separación de emulsiones de aceite / agua.
- Separación de metales pesados tras complejado o precipitación.
- Separación de componentes no fácilmente biodegradables en efluentes de tratamiento de aguas cloacales, que son reciclados subsiguientemente a la etapa biológica.
- Paso de tratamiento previo antes de ósmosis inversa o intercambio iónico.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Material de la membrana	Vulnerable a ataque químico, según el contenido del agua residual.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta eficacia de separación.</li> <li>Sistemas modulares, es decir, uso flexible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posibilidad de obstrucción, taponamiento y ensuciamiento.</li> <li>Compactación en presencia de agentes de ablandamiento.</li> <li>Elevada presión operativa, es decir, elevada presión de bombeo.</li> <li>Baja estabilidad mecánica.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
SST	aprox. 100	cerca de 0	
DQO			
Metales pesados			ver Sección 3.3.4.2.1

### Efectos sobre otros medios

El tratamiento con membrana produce un residuo (concentrado) de aproximadamente el 10 % del volumen de la alimentación original, en el que las sustancias objetivo están presentes a niveles de aproximadamente 10 veces su concentración en la alimentación original. Debe realizarse una evaluación de si este residuo puede ser desechado.

En las sustancias orgánicas en suspensión, el aumento de concentración puede mejorar las condiciones para los procesos de destrucción oxidativa subsiguientes. En el caso de sustancias orgánicas en suspensión, la etapa de concentración podría usarse como parte de un proceso de recuperación. En ambos casos, el agua del permeado de un proceso de membrana tiene posibilidad de ser reutilizada en el proceso industrial, reduciendo el aporte y la descarga de agua.

Los consumibles son:

Consumibles	MF	UF
Material de membrana		-
Agentes químicos (anti-incrustación, anti-ensuciamiento, lavado a contracorriente etc.)	-	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	2-20 <sup>1</sup>	1-10 <sup>1</sup>
Caída de presión	ver Tabla 3.3	ver Tabla 3.3

<sup>1</sup> Parece bastante sorprendente que la MF, el proceso con la menor caída de presión, consume más energía que los procesos con elevadas caídas de presión. El motivo es que se produce polarización y ensuciamiento por concentración. En MF, y en menor grado en UF, este fenómeno es muy severo y produce un declive drástico de flujo [cww/tm/161].

El consumo de energía está directamente relacionado con la velocidad de flujo transversal y los requisitos de presión. Está normalmente asociado con mantener una velocidad mínima de unos 2 m/s a través de la superficie de la membrana.

Una fuente de ruido es el equipo de bombeo, que puede aislarse.

### Monitorización

Para asegurar un funcionamiento fiable, debe monitorizarse continuamente la diferencia de presión a través de la membrana.

### Economía

	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Costes de inversión	Costes operativos	Costes de sustitución
MF		400–1500 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>		80–350 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>
		40000 BEF <sup>2</sup> por m <sup>2</sup> de membrana	2-200 BEF <sup>2</sup> por m <sup>3</sup> de agua residual	
UF		400–1500 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>		80–350 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>
		60000–200000 BEF <sup>2</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>b</sup>		

<sup>a</sup> Para membranas cerámicas de fibras huecas en espiral  
<sup>b</sup> Cifra inferior membranas orgánicas, cifra superior membranas inorgánicas  
<sup>1</sup> [cww/tm/93]  
<sup>2</sup> [cww/tm/128]

Los costes de inversión, incluidas instalaciones de limpieza automática, pueden desglosarse aproximadamente del modo siguiente [cww/tm/93]:

Bombas	30 %
Componentes sustituibles de membranas	20 %
Módulos de membrana (carcasas)	10 %
Construcciones, válvulas, armazón	20 %
Sistema de control	15 %
Otros	5 %

El coste operativo [cww/tm/93] se deriva de:

- Coste de energía para mantener la presión hidrostática y caudal de los sistemas.
- Vida prevista de las membranas.
- Régimen de limpieza requerido.
- Factores específicos del complejo, por ejemplo requisitos de mano de obra.

Pueden desglosarse aproximadamente del modo siguiente [cww/tm/93]:

Componentes de membrana sustituibles	35–50 %
Limpieza	12–35 %
Energía	15–20 %
Mano de obra	15–18 %

#### 3.3.4.1.6. Separación Aceite – Agua

##### Descripción

La separación de aceite y agua y la eliminación de aceite subsiguiente puede dividirse en:

- Separación por gravedad del aceite libre, utilizando equipo de separación.
- Rotura de la emulsión, mediante agentes de rotura de emulsiones, como:
  - Sales metálicas polivalentes, como alumbre, tricloruro de aluminio, cloruro ferroso, sulfato ferroso.
  - Ácidos minerales, como ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico.

- Adsorbentes como arcilla pulverizada, cal.
- Polímeros orgánicos como poliaminas, poliacrilatos,

y separación subsiguiente del aceite desemulsionado por coagulación / floculación y flotación por aire (ver Sección 3.3.4.1.3).

Los separadores de agua y aceite utilizados comúnmente son:

- El **Separador del American Petroleum Institute (API)** es el tipo más simple, consistente en una balsa rectangular abierta y un raspador de palas, este último mueve el lodo a un foso de recogida y el aceite al barredor superficial, capaz de interceptar grandes manchas de aceite (ver Figura 3 [cww/tm/91]).
- El **Separador de Placas Paralelas (PPI)**, equipado con placas paralelas a la corriente, que amplían enormemente la superficie activa, y un barredor superficial de aceite no adecuado para interceptar grandes manchas (ver Figura 3.18 [cww/tm/91]).
- El **Separador de Placas Onduladas (CPI)**, equipado con grupos de placas onduladas colocadas a contracorriente y un barredor superficial de aceite, no adecuado para interceptar grandes manchas pero con una buena eficacia de separación (ver Figura 3.19 [cww/tm/91]).

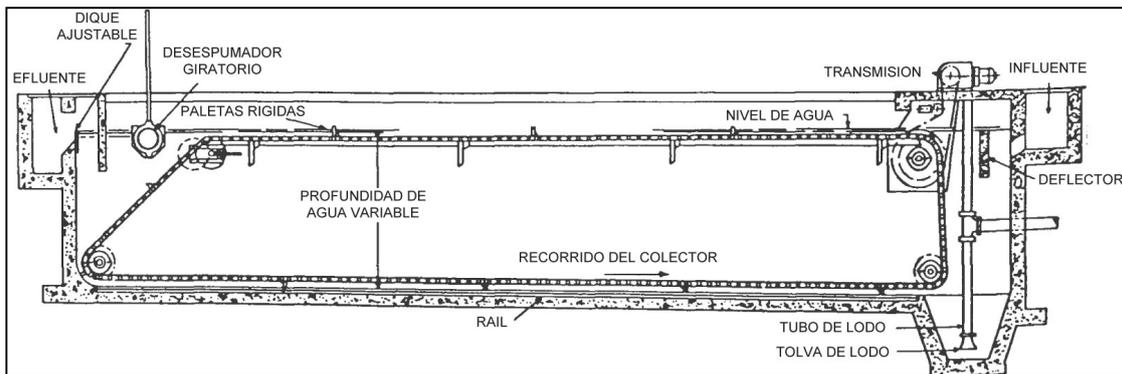


Figura 3.17. Separador del American Petroleum Institute (Separador API)

Para recoger la fase de aceite y retirarla para su recuperación o tratamiento ulterior, se utilizan varios tipos de equipos de separación superficial, como:

- Barredores superficiales de tubo fijo.
- Barredores superficiales rotatorios.
- Barredores superficiales de disco o tambor giratorio.

Son necesarias instalaciones de almacenaje para el aceite y el lodo separado si el aceite no puede reciclarse de inmediato.

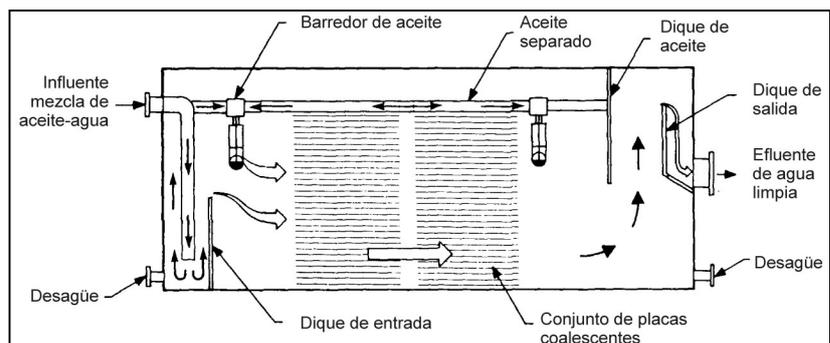


Figura 3.18. Separador de Placas Paralelas (PPI)

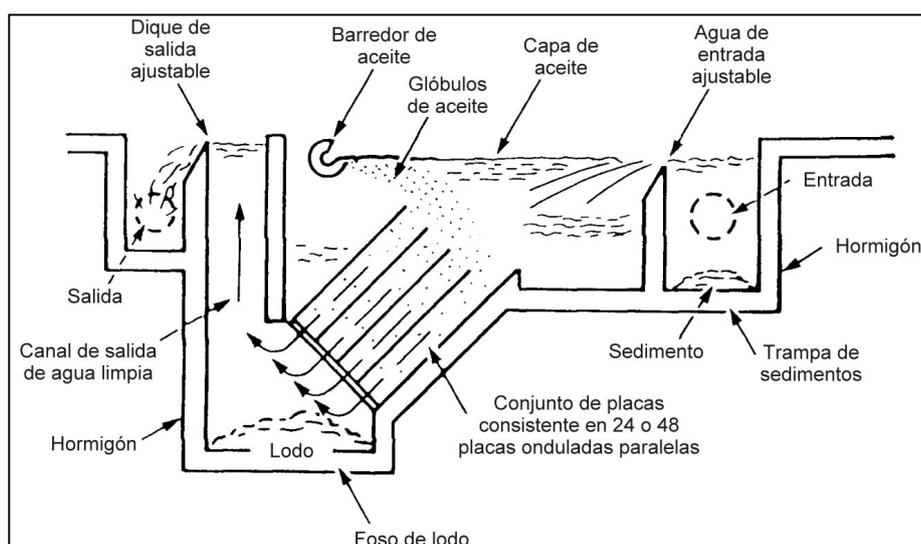


Figura 3.19. Separador de Placas Onduladas (CPI)

### Aplicación

La separación de aceite y agua se aplica para eliminar aceite, grasa y otros líquidos no solubles más ligeros que la fase acuosa del agua residual, principalmente en refinерías y complejos petroquímicos. Normalmente no se trata de un proceso independiente, sino que va seguido de flotación (IAF o DAF), apoyado por coagulación / floculación (ver Sección 3.3.4.1.3). El separador API se utiliza también como dispositivo de control para proteger el equipo posterior contra grandes manchas de aceite que pueden originarse por ejemplo en fallos del equipo, mientras que los separadores PPI y CPI muestran una mayor eficacia en la eliminación de gotas de aceite más pequeñas.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>El aceite puede ser recuperado y reciclado a las unidades de proceso.</li> <li>Aumento de eficacia en el orden API – PPI – CPI en cuanto a la eliminación de pequeñas gotas de aceite y la relación entre superficie activa / superficie del suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sólo el API puede interceptar grandes manchas de aceite libre y sólidos (por ejemplo para un caso de emergencia).</li> <li>En el caso de PPI y CPI, las placas son susceptibles de ensuciamiento, lo que aumenta el requisito de mantenimiento.</li> <li>No pueden separarse sustancias solubles.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
Aceite	90–95	6–90 mg/l <sup>1</sup>	API, refinería
		40–70 mg/l <sup>2</sup>	API, industria química
Sólidos	90–95		

<sup>1</sup> [información privada]

<sup>2</sup> [cww/tm/93]

### Efectos sobre otros medios

El aceite separado es generalmente devuelto a las unidades de proceso, donde se reutiliza tras pequeñas operaciones de limpieza. De lo contrario, se trata como residuo químico y debe ser desechado adecuadamente, junto con los sólidos separados.

Los separadores de aceite y agua, si no están cubiertos, son los principales contribuyentes a las emisiones de COV en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los que forman parte, y son por lo tanto la principal fuente de olores y riesgos para la salud. La cobertura de la superficie consigue una reducción de las emisiones de COV de alrededor del 95 % [cww/tm/48]. Por otra parte, la cobertura puede causar problemas en el barrido superficial, y la operación del equipo no puede comprobarse fácilmente. La situación local determinará qué opción se toma. Si se cubre el separador, el gas residual debe ser conducido a un sistema de eliminación que incluya un sistema de seguridad adecuado, como nitrógeno presurizado, para evitar el riesgo de explosión.

Las fuentes de emisiones son las bombas, que son fácilmente aislables, y el barredor superficial. Cuando sea apropiado, es necesario tomar medidas de control.

Los consumibles son:

Consumibles	API	PPI	CPI
Nitrógeno del sistema presurizado como dispositivo de seguridad <sup>a</sup>	0,05 m/h		
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]			

<sup>a</sup> nitrógeno gas en relación a la superficie [m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> h)]

### Monitorización

La salida debe ser monitorizada visualmente con regularidad para asegurar un funcionamiento apropiado, es decir, mediante chequeos de acumulación de aceite. El barredor superficial y el dique de aceite deben ser sometidos a mantenimiento regular.

### Economía

	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Costes de inversión [millones]	Costes operativos	Comentarios
API	1200	EUR 2.0 <sup>1</sup>		
PPI				
CPI	100	BEF 2-10 <sup>2</sup>	BEF 2-4 / m <sup>3</sup> <sup>2</sup> a	

<sup>a</sup> costes de mano de obra 3 h/día  
<sup>1</sup> [cww/tm/48]  
<sup>2</sup> [cww/tm/128]

#### 3.3.4.2. Contaminantes solubles no biodegradables o inhibitorios / Tratamiento físico-químico

Los contaminantes solubles no biodegradables o inhibitorios de aguas residuales pueden subdividirse en tres clases de compuestos:

- Compuestos inorgánicos como sales o compuestos de metales pesados.
- Compuestos orgánicos como fuente de COT refractarios.
- Compuestos orgánicos o inorgánicos inhibitorios que perturban el proceso biológico en una planta de tratamiento biológico de aguas residuales.

Los compuestos inorgánicos no se ven afectados por el tratamiento biológico y pueden, al igual que los COT refractarios, tender a perturbar el proceso biológico en una EDAR biológica. Ambos suelen requerir un tratamiento previo especial corriente arriba de una EDAR central. Las operaciones de pretratamiento son:

- Transformaciones químicas para formar productos sólidos que se separan en un proceso posterior como se describe en la Sección 3.3.4.1 (ver Sección 3.3.4.2.1 y 3.3.4.2.2).
- Procesos de degradación química para formar contaminantes biodegradables (ver Secciones 3.3.4.2.3 a 3.3.4.2.7).
- Procesos de eliminación física (ver Secciones 3.3.4.2.9 a 3.3.4.2.14).
- Procesos de incineración para formar residuos gaseosos y sólidos que puedan ser separados de la corriente de agua residual (ver Sección 3.3.4.2.15).

En los complejos químicos nuevos en Alemania, es práctica común utilizar estas operaciones de pretratamiento (o medidas integradas en el proceso en su lugar) con corrientes tributarias que lleven una carga no biodegradable relevante (ej. índices de eliminación de COT por debajo del 80 % y carga de COT recalcitrante de alrededor de 20 kg/d, 300 kg/a y 1 kg/tonelada de producto, independientemente de la situación local). En las instalaciones existentes, se toman las medidas que puedan conseguir un comportamiento óptimo, considerando la relación entre los beneficios medioambientales y los costes; para más detalles, ver Sección 2.2.1.2.

### 3.3.4.2.1. Precipitación

#### Descripción

La precipitación es un modo químico de formar partículas que puedan separarse mediante un proceso adicional, como sedimentación (Sección 3.3.4.1.2), flotación por aire (Sección 3.3.4.1.3), filtración (Sección 3.3.4.1.4), y si es necesario seguido de MF o UF (Sección 3.3.4.1.5). Puede ser también una técnica útil para eliminar precipitados coloidales (ej. sulfuros de metales pesados).

Una instalación de precipitación consiste normalmente en uno o dos tanques de mezcla con agitación, en los que se agrega el agente y posiblemente otros agentes químicos, un tanque de sedimentación y tanques de almacenaje para los agentes químicos. Si se necesita – como se ha mencionado anteriormente – se añade más equipo de tratamiento. El tanque de sedimentación puede ser sustituido corriente abajo por otros sistemas de recogida de lodo.

Los agentes químicos de precipitación típicos son:

- Cal (con lechada de cal, los dispositivos de preparación son parte de la unidad de tratamiento) (para metales pesados)
- Dolomita (para metales pesados)
- Hidróxido sódico (para metales pesados)
- Sosa comercial (carbonato sódico) (para metales pesados)
- Sales de calcio (aparte de la cal) (para sulfatos o fluoruros)
- Sulfuro sódico (para mercurio)
- Poliorganosulfuros (para mercurio).

Éstos van con frecuencia acompañados de floculantes para facilitar una mayor separación, como:

- Sales ferrosas y férricas
- Sulfato de aluminio
- Polímeros
- Poliorganosulfuros.

#### Aplicación

La precipitación puede aplicarse en distintas etapas de la corriente de aguas residuales, como:

- Directamente en origen para eliminar los metales pesados con la mayor eficacia para evitar su dilución por corrientes sin carga.

- Como técnica de tratamiento central para la eliminación de fosfatos, sulfatos y fluoruros, siempre que no se espere una dilución inadecuada.
- Para eliminar fosfatos tras la etapa biológica en una EDAR central, en la que el lodo se recoge en el clarificador final.

La eficacia de una separación ulterior líquido / sólido depende normalmente de factores como el pH, la calidad de mezcla, la temperatura o el tiempo de estancia en el paso de precipitación; las condiciones reales deben determinarse en un estudio caso por caso.

Límites y restricciones de aplicación:

	<b>Límites / restricciones</b>
Ajuste del pH	Rango de pH óptimo para metales pesados, fosfatos, fluoruros: pH 9–12, Cuando se utilizan sulfuros, el sulfuro de hidrógeno se genera en condiciones ácidas.
Sustancias que forman complejos	Pueden evitar la precipitación de metales pesados como cobre y níquel.

**Ventajas y desventajas**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p><u>Con cal como agente</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevención del aumento del contenido de sales en el agua residual</li> <li>• Aumento de la capacidad de regulación intermedia de la PTAR biológica central.</li> <li>• Mejora en la sedimentación de lodo.</li> <li>• Espesamiento de lodo.</li> <li>• Mejora de la deshidratabilidad del lodo.</li> <li>• Acortamiento del ciclo de deshidratación.</li> <li>• Bajo coste.</li> </ul>	<p><u>Con cal como agente</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas operativos asociados con la manipulación, almacenaje y alimentación de cal [cww/tm/4].</li> <li>• Aumento de la cantidad de lodo debido al exceso de hidróxido cálcico.</li> <li>• Problemas de mantenimiento [cww/tm/4].</li> </ul>
<p><u>Para sulfuro sódico</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la cantidad de lodo (alrededor de un 30 % en volumen en comparación con el tratamiento con cal).</li> <li>• Reducción de la cantidad de agentes químicos empleados (alrededor del 40 % en comparación con el tratamiento con cal).</li> <li>• Produce niveles de metales más bajos en el efluente tratado.</li> <li>• No se requiere pre o post-tratamiento.</li> <li>• Gran eficacia para eliminar los metales suspendidos y disueltos de una corriente de agua residual.</li> </ul>	<p><u>Para sulfuro sódico</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de sulfuro de hidrógeno cuando el lote se hace ácido por un fallo.</li> <li>• Problemas de olor asociados con el sulfuro sódico.</li> </ul>

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

- Eliminación de una sola especie de metal pesado de una matriz de agua residual inorgánica.
- Eliminación de una mezcla de metales pesados de una matriz de agua residual inorgánica.
- Eliminación de metales pesados de la matriz de agua residual orgánica con tendencia a la formación de complejos metálicos, como por ejemplo agentes colorantes.

**Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables**

Parámetro	Nivel de emisión [mg/l]	Agente	Comentarios
Mercurio			
Cadmio			
Cobre			
Níquel			
Plomo			
Cromo (III)			
Cromo (VI)			
Zinc			
Estaño			
Aluminio			
Hierro (III)			
Hierro (II)			
Sulfatos			
Fosfatos			
Fluoruros			

En el momento actual, no se ha facilitado la información necesaria para completar la tabla superior.

**Efectos sobre otros medios**

Los precipitantes normalmente deben desecharse como lodo. A menudo este lodo es un residuo químico, al menos si hay metales pesados involucrados. Este residuo puede contener carbonatos, fluoruros, hidróxidos (u óxidos), fosfatos, sulfatos, o sulfuros de metales pesados.

Las fuentes de ruido son las bombas y las instalaciones de eliminación de lodo. Deben tomarse medidas apropiadas para el control del ruido.

Si cabe esperar la emisión de sustancias volátiles y olorosas, la precipitación deberá realizarse en tanques cerrados o balsas cubiertas con conductos a instalaciones de eliminación de gases.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Agente de precipitación (cal, dolomita, sales ferrosas y férricas, sulfato ferroso / sulfuro sódico, sulfato de aluminio, polímeros, poliorganosulfuros)	Según la carga de contaminantes
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

**Monitorización**

Durante el proceso de precipitación, el valor del pH y la dosificación de agentes, floculantes y/o coagulantes deben ajustarse cuidadosamente.

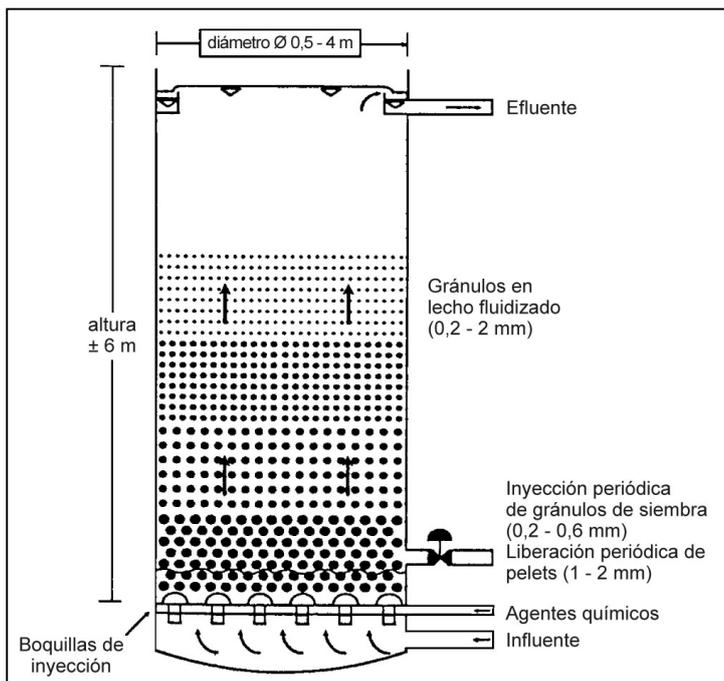
**Economía**

Tipo de costes	Costes	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Comentarios
Costes de inversión			
Costes operativos			

3.3.4.2.2. Cristalización

**Descripción**

La cristalización está estrechamente relacionada con la precipitación. En contraste con ésta, el precipitado no se forma mediante reacción química en el agua residual, sino que se produce a partir de material de semilla como arena o minerales, en un proceso en lecho fluidizado – un sistema de reactor de pellets. Los pellets crecen y van cayendo al fondo del reactor. La fuerza impulsora del proceso es la dosificación de los reactivos y el ajuste del pH. No se produce lodo residual. El principio de un dispositivo de cristalización se ilustra en la Figura 3.20 [cww/tm/97].



**Figura 3.20.**  
**Principio del proceso de cristalización**

El dispositivo de cristalización consiste principalmente en:

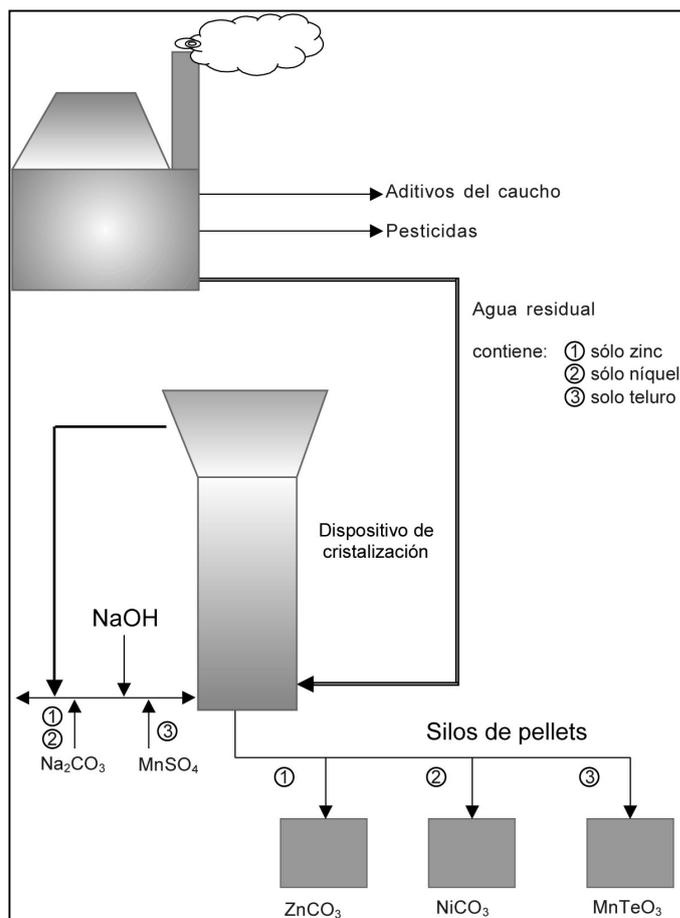
- El reactor cilíndrico con influente por el fondo y efluente por la parte superior.
- Material de siembra, es decir, pellets de arena de filtración o minerales, mantenido en un estado de lecho fluidizado.
- El sistema de circulación con bomba de recirculación.

La velocidad del agua residual influente (40–120 m/h) mantiene los pellets en un estado fluidizado [cww/tm/97]. Las condiciones de proceso en el fondo del reactor se escogen de forma que se produzca una sobresaturación relativamente alta de las sales deseadas. El lecho fluidizado proporciona una superficie de cristalización muy grande (5000–10000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) de modo que, en una reacción rápida y controlada, casi todos los aniones del contenido metálico cristalizan sobre los pellets. Periódicamente se descarga parte de los pellets y se sustituye por nuevo material de siembra. Normalmente esto ocurre una vez al día.

El principio del sistema de circulación es mezclar el agua residual influente con la corriente de circulación de menor concentración aniónica o metálica. Gracias al sistema de circulación, el reactor puede funcionar de forma más flexible, por ejemplo:

- Las fluctuaciones en el caudal y la composición del influente se eliminan fácilmente.
- Es posible tratar todos los tipos de aguas residuales con concentraciones en el rango 10–100000 ppm simplemente adaptando la tasa de circulación (el agua residual más concentrada requiere una mayor tasa de circulación).
- La fluidización de los pellets se mantiene también si no se alimenta agua residual.

Si hay que cumplir demandas muy estrictas, el efluente puede limpiarse mediante filtración convencional o continua de arena o filtración con membrana. Esta etapa de filtración puede situarse dentro del circuito de circulación o en el caudal de efluente. El efluente se utiliza para lavado a contracorriente de filtros de arena con-convencionales. El material arrastrado eliminado por el filtro se redisuelve mezclándolo con la alimentación ácida, o se acidifica, y es devuelto al reactor. En la Figura 3.21 se da un ejemplo de proceso de cristalización en una producción química [cww/tm/97].



**Figura 3.21.**  
**Aplicación múltiple de la cristalización en una producción química**

### Aplicación

En la mayoría de los casos, la cristalización se aplica para eliminar metales pesados de las corrientes de aguas residuales y para recuperarlos para uso ulterior, pero también permite tratar fluoruros, fosfatos y sulfatos. Son ejemplos de utilización en la industria química [cww/tm/97]:

- La recuperación de zinc, níquel y/o telurio en la producción de aditivos para el caucho, con concentraciones de alimentación entre 50 y 250 ppm.
- La recuperación de níquel y aluminio en la producción de elastómeros; el dispositivo de cristalización opera antes de una EDAR biológica central, con concentraciones de alimentación entre 50 y 400 ppm para níquel y aluminio respectivamente.

En principio, casi todos los metales pesados, metaloides y aniones pueden ser eliminados de todos los tipos de aguas residuales mediante cristalización. La formación de pellets de sal es viable cuando la solubilidad de la sal generada es baja y el metal o anión cristaliza rápidamente formando una red cristalina estable. Mientras que los metales son normalmente extraídos como carbonatos, bicarbonatos, sulfuros, fosfatos, sulfatos, fluoruros, etc., los aniones se eliminan normalmente como sales de calcio [cww/tm/97].

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Caudal	0,1–10000 m <sup>3</sup> /h
Contenido de contaminante	10 mg/l–100 g/l
Capacidad de eliminación	Hasta 100 kg de metal/anión por hora y unidad

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidades compactas y flexibles, lo que permite un montaje modular y la selección de materiales específicos.</li> <li>• No hay producción de lodo.</li> <li>• Pellets anhidros de gran pureza que permiten el reciclaje o reutilización del contenido metálico en otros sectores.</li> <li>• Recuperación / reciclaje de materia prima.</li> <li>• Proceso casi sin residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo aplicable a constituyentes iónicos que formen sales insolubles o poco solubles.</li> <li>• Reactivos restringidos a sustancias no peligrosas.</li> <li>• El contenido total de sales del agua residual no se reduce.</li> </ul>

### Valores de emisión / Índices de eficacia alcanzables

La finalidad principal de la cristalización es la eliminación o recuperación de metales pesados. Las emisiones de efluentes alcanzables son:

Parámetro	Nivel de emisión [mg/l]	Agente	Comentarios
Zinc	1 <sup>1</sup>	Sosa comercial, sosa cáustica	Alimentación 50-250 mg/l, pH 10
Níquel	1 <sup>1</sup>	Sosa comercial, sosa cáustica	Alimentación 50-250 mg/l o 1000 mg/l, pH 10
Teluro	1 <sup>1</sup>	Sulfato de manganeso, sosa cáustica	pH 9, tras la filtración
Aluminio	20 <sup>1</sup>	Sulfato, sosa cáustica	Alimentación 50-400 mg/l

<sup>1</sup> [cww/tm/97]

### Efectos sobre otros medios

Para conseguir buenos resultados de eliminación, los reactivos necesarios para formar los precipitados se agregan normalmente en exceso. Esto significa que la eliminación de una sustancia tiene como consecuencia la adición de otro compuesto no presente en la corriente de agua residual original.

Normalmente no se producen residuos o lodos, dado que las sales precipitadas quedan fijadas a los pellets. Están casi libres de impurezas, y su contenido de humedad es sólo del 5–10 % tras secado atmosférico [cww/tm/97]. Por lo tanto, los pellets pueden usarse para recuperar las sustancias contaminantes.

Las fuentes de ruido son las bombas, que es posible que deban aislarse para eliminar el ruido.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Agentes de cristalización	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

### Monitorización

Los parámetros importantes a controlar son:

- Caudal de agua, para mantener el lecho fluidizado en funcionamiento.
- La concentración / carga del metal o anión en cuestión en el efluente.
- La dosis de reactivo, para mantener las condiciones óptimas para cristalización.
- pH por el mismo motivo.
- La concentración del metal o anión en el efluente.

## Economía

La situación económica es [cww/tm/97]:

Tipo de costes	Costes <sup>a</sup> [USD/kg]	Comentarios
<b>Costes de inversión</b>		
<b>Costes operativos:</b>		
Depreciación	3–25	Según capacidad
Compuestos químicos	0,50–2,50	Según concentración
Energía	0,25	
Personal		1 hora al día
Mantenimiento		3-5 % de la inversión
<b>Beneficios:</b>		
Reutilización	0–14,50	Según el anión o metal
Reducción de residuos químicos	2–8	Según concentración en lodo
Reducción del coste operativo de precipitación	0,50–3	En caso de pretratamiento
Ahorro de inversión en la planta de precipitación	3–12	En caso de tratamiento final
Reducción de tasas de evacuación	30-40	En caso de tratamiento final
<sup>a</sup> por kg de anión o metal recuperado		

### 3.3.4.2.3. Oxidación química

#### Descripción

La oxidación química es la conversión de contaminantes mediante agentes de oxidación química, distintos de oxígeno/aire o bacterias, a componentes similares pero menos dañinos o peligrosos y/o a compuestos orgánicos de cadena corta y fácilmente biodegradables. Los agentes de oxidación química son, por ejemplo:

- Cloro
- Hipoclorito sódico o cálcico
- Ozono (con o sin radiación UV)
- Peróxido de hidrógeno / radiación UV
- Peróxido de hidrógeno / sales ferrosas (agente Fenton).

Son operaciones frecuentes conectadas con la oxidación química:

- Oxidación con ozono
- Oxidación con peróxido de hidrógeno
- Oxidación con ozono / radiación UV
- Oxidación con peróxido de hidrógeno / radiación UV
- Oxidación con ozono, peróxido de hidrógeno y radiación UV
- Oxidación con cloruro / hipoclorito

El diseño de un reactor de oxidación depende de su aplicación especial:

- Los procesos de oxidación se realizan normalmente a presiones de hasta 0,5 MPa [cww/tm/82]. Según si la radiación UV actúa como acelerador, el equipo del reactor deberá proporcionar la fuente de radiación, por ejemplo mediante una lámpara de mercurio de baja presión. En tal caso, el reactor consiste normalmente en tubos de cuarzo, transparentes a los rayos UV, que encierran el agua residual, y las lámparas UV fuera, o las lámparas UV dentro de los tubos de cuarzo, que están circundados por el agua residual.
- Si el ozono interviene en el proceso, un generador de ozono es parte del equipo, ya que el ozono es un compuesto inestable que no puede transportarse y que debe generarse in situ. Después del tratamiento, el exceso de ozono debe eliminarse. Los requisitos de seguridad para la manipulación de ozono son estrictos.

- Con peróxido de hidrógeno como agentes de oxidación, es necesario un adsorbedor de GAC (ver Sección 3.3.4.2.9) para eliminar el exceso de agente.
- La aplicación de cloro requiere equipo especial, como recipientes fabricados con titanio. Debe disponerse de instalaciones adicionales que puedan eliminar el exceso de cloro o hipoclorito mediante, por ejemplo, sulfito.

Hay que disponer de instalaciones de almacenaje para los agentes de oxidación, teniendo en cuenta el potencial peligroso de estas sustancias.

### Aplicación

La oxidación química se aplica normalmente cuando el agua residual contiene contaminantes que no son fácilmente biodegradables, o que no son biodegradables en absoluto (ej. componentes inorgánicos), que pueden perturbar el proceso biológico o fisicoquímico en una EDAR corriente abajo, o cuyas propiedades sean demasiado nocivas para permitir su liberación a un sistema de alcantarillado común. Ejemplos de tales contaminantes son:

- Aceites y grasas
- Fenoles
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)
- Haluros orgánicos
- Colorantes (con agente Fenton)
- Pesticidas
- Cianuros
- Sulfuros
- Sulfitos
- Complejos de metales pesados.

Algunos de los contaminantes son biodegradables en cierto grado y pueden tratarse alternativamente con microorganismos especialmente adaptados. En estos casos, si la oxidación química es preferible a la oxidación biológica depende de la situación local. Cuando se trata de cantidades pequeñas de aguas residuales o no hay tratamiento biológico disponible en un complejo, la oxidación química puede ser una opción de tratamiento recomendable en lugar de instalar una EDAR biológica central.

Las reacciones de oxidación con oxígeno activo (ozono, peróxido de hidrógeno), a menudo acompañadas de irradiación UV, se utilizan, por ejemplo, para tratar los lixiviados de vertederos o eliminar la DQO refractaria, componentes olorosos o pigmentos de color.

La oxidación con cloro o cloruro sódico puede utilizarse en condiciones especiales para eliminar los contaminantes orgánicos, incluso haluros orgánicos. Un ejemplo es el proceso SOLOX® para eliminar (a presión y temperatura elevadas) DQO/COT y AOX del agua residual que se origina de la producción de epíclorhidrina. Sin embargo, el uso de cloro, hipoclorito y clorito (o los respectivos compuestos halogenados) debe ser estudiado detenidamente en cada caso, debido al riesgo de generar haluros orgánicos a partir del contenido orgánico de la corriente de agua residual.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Irradiación UV	<ul style="list-style-type: none"><li>• Una alta turbidez produce una mala transmisión de los rayos UV.</li><li>• El contenido de amoníaco debe ser bajo, compite con los compuestos orgánicos consumiendo radicales [cww/tm/27].</li><li>• Las sustancias que tienden al ensuciamiento reducen la eficacia.</li><li>• La oxidación incompleta o la formación de contaminantes intermedios puede reducir la eficacia del proceso.</li></ul>

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite tratar agua residual con concentraciones de DQO refractaria en un rango desde algunos g/l hasta menos de 1 µg/l [cww/tm/77].</li> <li>• Permite tratar sustancias inorgánicas.</li> <li>• Permite gestionar fluctuaciones grandes.</li> <li>• Corto tiempo de residencia, por lo que se requiere un volumen de tanque reducido (la oxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tiene lugar a presión atmosférica y temperatura ambiente en 60–90 minutos [cww/tm/132]).</li> <li>• El proceso puede combinarse con cualquier otro para conseguir resultados óptimos (adsorción con GAC, desorción, lodo activado).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo de energía: generación de ozono, generación de UV, presión y calor para la oxidación con cloro).</li> <li>• Requiere una alta calidad de la alimentación.</li> <li>• Pueden generarse haluros orgánicos cuando se utilizan compuestos halogenados como agente de oxidación.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Para peróxido de hidrógeno como agente de oxidación, la eliminación de DQO de diversas sustancias orgánicas en función del uso de peróxido de hidrógeno se ilustra en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4.**  
**Eliminación de DQO de diversas sustancias en función del uso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [cww/tm/132]**

Sustancias	Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / DQO [%] <sup>a</sup>	Eliminación de DQO [%] <sup>b</sup>	Uso de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [%]
Morfolina	100	20	20
2-Aminoetanol	100	37	37
Dietilenglicol	100	45	45
Polietilenglicol	100	35	35
Hexametilentetramina	100	32	32
2,4-Difluoro-5-cloro-6-metilpirimidina	100	30	30
Feniltrifluoroetilcarbamida	80	75	94
Trifluoroetiliditiocarbamato amónico	80	79	99

<sup>a</sup> porcentaje de la cantidad estequiométrica  
<sup>b</sup> porcentaje del valor inicial

Otros índices de eficacia alcanzables son:

Parámetro	Eficacia [%]	Agente de oxidación	Comentarios
COT	>90 <sup>1</sup>	Cloro / hipoclorito	Alimentación unos 1 g/l COT
AOX	80 <sup>1</sup>	Cloro / hipoclorito	Alimentación unos 40 mg/l AOX
Aceite			
Fenoles			
HAP			
Cianuros			
Sulfuros			
Sulfitos			

<sup>1</sup> [cww/tm/82], proceso SOLOX

Cuando se trata agua residual con contenido orgánico refractario, la tarea principal es descomponer estos compuestos en compuestos más fácilmente degradables / menos nocivos. Teniendo esto en cuenta, la fuente más práctica de evidencia de comportamiento podría no ser sólo la eficacia de eliminación del proceso de

oxidación en sí, sino más bien la reducción global de estos contaminantes, conseguida en colaboración con los procesos de tratamiento anteriores y posteriores.

**Efectos sobre otros medios**

Mientras que la oxidación con ozono y/o peróxido de hidrógeno no crea normalmente una transferencia del problema del agua al aire y/o la sección de desecho, el uso de cloro o hipoclorito debe ser validado de forma crítica para cada aplicación. Como se ha mencionado, el cloro y el hipoclorito podrían – en contraste con el ejemplo del proceso SOLOX – generar compuestos orgánicos clorados que son poco degradables y/o tóxicos. Esto puede también detectarse cuando se mezcla agua residual cargada de compuestos orgánicos con otras corrientes que contienen exceso de hipoclorito de pasos de oxidación anteriores. El agua residual tratada mediante oxidación con cloro debe ser desprovista del exceso de cloro o hipoclorito antes de su descarga al sistema de alcantarillado general.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Agente oxidante	
Agente para destruir el exceso de oxidante	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	
Para producción de ozono [kWh/kg O <sub>3</sub> ]	9-12 (1-3 % en peso de ozono a partir de oxígeno; valor doble con aire seco)

**Monitorización**

Durante el proceso de oxidación es crucial una monitorización detallada de los parámetros operativos, como:

- pH
- Potencial redox
- Concentración de ozono (las concentraciones de ozono del 15-20 % en aire son muy inestables y tienden a descomponerse [cww/tm/27])
- Concentración de oxígeno (por motivos de seguridad)
- Contenido de exceso de oxidante en el efluente
- Contenido de AOX en el efluente, si se utilizan agentes a base de cloro.

**Economía**

La oxidación química no es rentable cuando cabe esperar elevadas concentraciones de contaminantes, ya que entonces se requieren grandes cantidades de agente. Los procesos de oxidación avanzados, como:

- UV / peróxido de hidrógeno
- UV / ozono
- UV / peróxido de hidrógeno / ozono

comportan elevados costes de inversión y costes operativos, y requieren un pretratamiento del agua residual más extenso que los procesos sin irradiación.

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

### 3.3.4.2.4. Oxidación por aire húmedo

#### Descripción

La oxidación por aire húmedo es la reacción con oxígeno en fase acuosa a alta presión y temperatura. La reacción suele producirse en presencia de catalizadores. Los productos de reacción son, en función del contenido del agua residual:

- Monóxido de carbono del contenido orgánico
- Dióxido de carbono del contenido orgánico
- Agua del contenido orgánico
- Nitrógeno de la hidracina, o de amoníaco o compuestos orgánicos que contienen amonio y N, si se utiliza un catalizador.
- Nitratos de nitritos y compuestos orgánicos nitrogenados.
- Amonio, en ausencia de un catalizador.
- Cloruro (de hidrógeno) de cloruros orgánicos.
- Sulfatos de sulfuros, sulfitos y tiocianatos.
- Fosfatos de compuestos fosforados.

Para una mejor determinación de la gama potencial de aplicaciones para la oxidación húmeda, ha demostrado ser ventajoso desarrollar dos variantes de proceso con distintas condiciones de reacción:

- Oxidación húmeda a baja presión.
- Oxidación húmeda a alta presión.

Las distinciones correspondientes en cuanto a temperatura y presión están también asociadas con importantes diferencias en factores de ingeniería de proceso, consideraciones acerca de las materias usadas y requisitos de seguridad de la planta [cww/tm/132].

Las propiedades típicas de las dos variantes son:

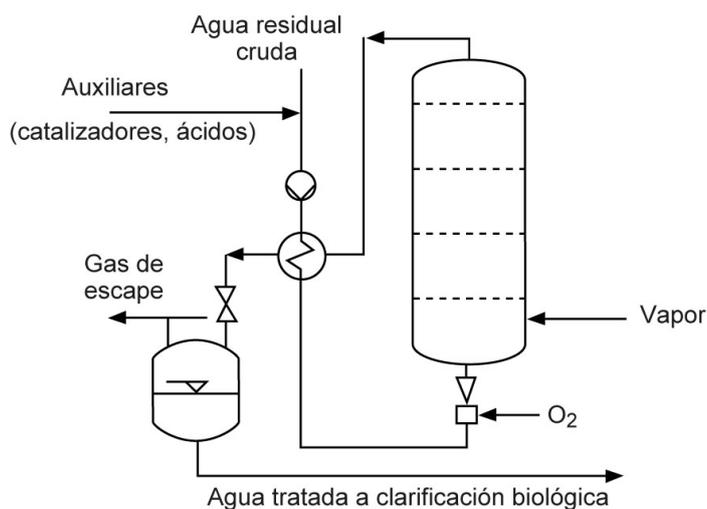
	Baja presión	Alta presión
Rango de temperatura [°C]	30–200	150–340
Rango de presión [MPa]	0,5–2	>2
Tiempo de estancia [h]	0,5–3	0,5–3

El equipo y el diseño para el proceso de oxidación por aire húmedo a baja presión son [cww/tm/51]:

- Recipiente del reactor según la presión y temperatura aplicadas, esto es:
  - Una columna de burbujas verticales bien mezclada, sin mezcla mecánica.
  - Un reactor horizontal con compartimentos agitados en serie.
  - Un reactor de oxidación de cuerpo profundo (ver Figura 3.44)
  - Un reactor de lecho relleno con catalizador.
- Bomba de alta presión para el transporte de agua residual o lodo.
- Compresor para el suministro de aire / oxígeno.
- Separador de gas / líquido.
- Válvulas reductoras de presión.
- Sistema intercambiador de calor con instalaciones de precalentamiento para la entrada de agua residual.

Los requisitos de material para las partes calientes de la planta son muy altos. El equipo adecuado para temperaturas de <160 °C debe ser esmaltado o recubierto con PTFE, las partes metálicas que deben operar a temperaturas de hasta 200 °C deben estar fabricadas con titanio o sus aleaciones en las partes con calentamiento, y con acero inoxidable resistente al cloro en las partes frías [cww/tm/132].

En la Figura 3.22 se muestra un ejemplo del proceso de oxidación húmeda a baja presión.



**Figura 3.22.**  
**Esquema de una instalación Loprox**  
**operada a 120 – 200°C y 0,3 – 2,0 con**  
**un tiempo de retención**  
**< 3 h [cww/tm/132]**

### Aplicación

La oxidación por aire húmedo se aplica al agua residual que contiene contaminantes que no son fácilmente biodegradables o que pueden perturbar el proceso biológico en una EDAR biológica corriente abajo, o que tienen propiedades demasiado nocivas para permitir su liberación a un sistema de alcantarillado normal. También se utiliza para el tratamiento de lodos (ver Sección 3.4). Las sustancias preferiblemente consideradas para esta técnica son, por ejemplo:

- Nitritos que se convierten a nitratos en un proceso en un solo paso a 30–50 °C
- Sulfitos de la fabricación de colorantes que se convierten a sulfatos en un proceso en dos pasos con catálisis homogénea a 120-140 °C y 0,6 MPa [cww/tm/132]
- Derivados fenólicos y nafténicos que se convierten a 120–150 °C
- Compuestos aromáticos clorados que se convierten en un proceso catalítico a 120–190 °C,

usando la variante a baja presión, y

- Compuestos nitroorgánicos que se convierten a nitrógeno
- Compuestos aminoorgánicos o compuestos aromáticos que contienen heteroátomos de nitrógeno que son convertidos a amoníaco
- Compuestos organosulfurados que son convertidos a sulfatos
- Compuestos organofosforados que se convierten a fosfatos
- Compuestos organoclorados que se convierten a ácido clorhídrico,

usando la variante a alta presión.

Son ejemplos de procesos de producción en los que se aplica oxidación con aire húmedo [cww/tm/160]:

- Producción de colorantes y compuestos intermedios
- Oxidación de sulfonatos aromáticos
- Producción de derivados del fenol o naftol
- Producción de hidrocarburos aromáticos.

La oxidación con aire húmedo puede también sustituir a una EDAR biológica central, si la cantidad de agua residual es demasiado pequeña para justificar una planta de este tipo o si no hay tratamiento biológico disponible.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Concentración de contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>No ofrece ventajas para bajas concentraciones de DQO; recomendable para concentraciones de DQO entre 5000 y 50000 mg/l [cww/tm/160], mientras que a concentraciones entre 6000 y 8000 mg/l es autotérmica [cww/tm/132]</li> <li>Las concentraciones de más de 100000 mg/l requieren dilución [cww/tm/27]</li> <li>Con la variante a alta presión, se requieren concentraciones de DQO de más de 50000 para igualar la demanda de energía total del proceso [cww/tm/132]</li> <li>Concentraciones de fluoruros &lt;10 mg/l (variante a baja presión) [cww/tm/160], las concentraciones más elevadas deben ser pretratadas, por ejemplo mediante precipitación con sal de calcio y filtración subsiguiente; &lt;5 mg/l (variante a alta presión) [cww/tm/160]</li> <li>Las concentraciones de fluoruro consistentes con el producto de solubilidad del fluoruro cálcico son suficientes para iniciar corrosiones a pH &lt;5 (variante a alta presión) [cww/tm/132]</li> <li>Las cargas de sales deben minimizarse todo lo posible, al menos en la variante a alta presión, debido a la corrosión [cww/tm/82], ej. [cww/tm/160]: <ul style="list-style-type: none"> <li>sales &lt;150 g/l</li> <li>cloruros &lt;50 g/l</li> <li>fosfatos &lt;400 mg/l</li> <li>NH<sub>4</sub>-N &lt;2,5 mg/l</li> <li>Ca, Fe, Al, Cu &lt;100 mg/l</li> </ul> </li> </ul>
Fluctuaciones del agua residual	El agua residual debe recogerse y equalizarse corriente arriba de las instalaciones de oxidación.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden tratarse aguas residuales con altas concentraciones de DQO refractaria.</li> <li>Los contaminantes inorgánicos pueden ser eliminados o transferirse a sustancias menos peligrosas.</li> <li>Puede combinarse con otros tratamientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden generarse dioxinas [cww/tm/82].</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Cuando la eliminación del contenido orgánico refractario y/o inhibidores del tratamiento biológico subsiguiente es el objetivo principal, se hace normalmente en un enfoque en dos pasos:

- Romper los componentes refractarios en componentes de cadena corta o fácilmente degradables.
- Luego enviar esta agua residual a una EDAR biológica (central) corriente abajo.

Por lo tanto, el comportamiento no se evalúa mirando sólo la eficacia del proceso de oxidación, sino también teniendo en cuenta la eficacia del proceso biológico subsiguiente.

Para la variante a baja presión, se reportan los siguientes datos:

Parámetro	Eficacia	Comentarios
DQO	60–90 % <sup>1</sup>	ejemplo: reducción del 85 % mediante oxidación húmeda (190 °C, 2 MPa), seguida de una reducción del 90 % tras el paso de clarificación biológica, en total un 98 % de reducción de DQO <sup>3</sup>
	50 % <sup>2</sup>	90 % después del tratamiento biológico
AOX	60–>90 <sup>1,3</sup>	Temperatura de reacción de 190 °C
BOD/DQO	Aumento de 0,1 a 0,5 <sup>3</sup>	Temperatura de reacción de 190 °C
Sulfuro sódico	<1 mg/l <sup>4</sup>	Concentración inicial 30 g/l, 160 °C, 0,9 MPa
<sup>1</sup> [cww/tm/82] <sup>2</sup> [cww/tm/160] <sup>3</sup> [cww/tm/132] <sup>4</sup> [cww/tm/149]		

Para la variante a alta presión, se reportan los siguientes datos:

Parámetro	Indice de eficacia [%]	Comentarios
DQO	99 <sup>1</sup>	Concentración inicial 30 g/l, 250 °C, 7 MPa
COT	95 <sup>2</sup>	280 °C, 12 MPa
AOX	80 <sup>2</sup>	280 °C, 12 MPa
Aminas aromáticas	76–83 <sup>3</sup>	COT inicial 14,6 g/l, pH 1,1-10, 280-300 °C
Heterociclos nitrogenados	77–92 <sup>3</sup>	COT inicial 1,1-14,3 g/l, pH 1,1-10, 280-300 °C
Azocompuestos	97–99 <sup>3</sup>	COT inicial 13,1 g/l, pH 1,5-10, 280-300 °C
Acidos nitrosulfónicos	76–84 <sup>3</sup>	COT inicial 14,0 g/l, pH 1,5-10, 280-300 °C
Heterociclos oxigenados	80–87 <sup>3</sup>	COT inicial 52 g/l, pH 11,5, 280-300 °C
Acidos sulfónicos que contienen Cl	90–93 <sup>3</sup>	COT inicial 3,5 g/l, pH 1,6, 280-300 °C
Acidos aminosulfónicos	80–88 <sup>3</sup>	COT inicial 20-24 g/l, pH 1,4-2,2, 280-300 °C
Acidos aminopolisulfónicos	64–65 <sup>3</sup>	COT inicial 47,6 g/l, pH 0,5, 280-300 °C
Compuestos nitrogenados	93–94 <sup>3</sup>	COT inicial 6 g/l, pH 9,3, 280-300 °C
Compuestos oxigenados	75–81 <sup>3</sup>	COT inicial 9,2 g/l, pH 2,2, 280-300 °C
Agua residual mixta	77–81 <sup>3</sup>	COT inicial 11,4 g/l, pH 1,9, 280-300 °C
<sup>1</sup> [cww/tm/149] <sup>2</sup> [cww/tm/160] <sup>3</sup> [cww/tm/132]		

Como ejemplo de la aplicación de oxidación con aire húmedo a alta presión a bajas concentraciones de COT, se reportan los siguientes resultados de eliminación de pesticidas [cww/tm/27]:

Contaminante	Concentración influyente [µg/l]	Concentración efluente [µg/l]	Comentarios
Aldrina	500	<50	
DDT	21000	<300	
Endosulfano	18400	291	
Endrina	3600	<100	
2,4-Diclorofenol	180	<3,1	

### Efectos sobre otros medios

En condiciones adversas puede ocurrir la generación o regeneración de dioxinas, por lo que los residuos pueden requerir tratamiento ulterior. Los efluentes de este proceso – acuosos y gases de escape (monóxido de carbono, hidrocarburos de bajo peso molecular) – deben ser sometidos a tratamiento corriente abajo, como tratamiento biológico, adsorción o desorción del agua residual, y lavado de gas, biofiltración y/o oxidación térmica / catalítica del gas residual.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Aire, oxígeno	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

El consumo de energía depende de la carga de COT. Cuando el contenido de COT supera el rango autotérmico, el calor generado puede utilizarse mediante la instalación de intercambiadores de calor.

### Monitorización

Durante todo el proceso es vital una monitorización detallada de los parámetros operativos como presión, temperatura y contenido de oxígeno para asegurar un funcionamiento sin problemas.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos	5 DEM/m <sup>3</sup> <sup>1</sup>	a 100 °C
	20–40 DEM/m <sup>3</sup> <sup>1</sup>	a 200 °C
	1,5 EUR/kg COT <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/132]		
<sup>2</sup> [cww/tm/160]		

#### 3.3.4.2.5. Oxidación en agua supercrítica (SCWO)

### Descripción

La SCWO es una aplicación especial de la variante a alta presión de la oxidación con aire húmedo (ver Capítulo 3.3.4.2.4). La reacción de oxidación tiene lugar en la región supercrítica del agua, es decir, a temperaturas de más de 374 °C y presiones por encima de 22,1 MPa. El proceso se ilustra en Figura 3.23.

El agua residual se lleva a la presión supercrítica mediante una bomba de alta presión antes de entrar en el economizador, en el que la alimentación es precalentada por el efluente del reactor. En el arranque, o si la

concentración orgánica en el agua residual es de menos del 4 %, la alimentación debe calentarse adicionalmente para alcanzar el rango de temperatura supercrítica. Si se agrega oxígeno a la alimentación, la temperatura del reactor aumentará hasta unos 600 °C.

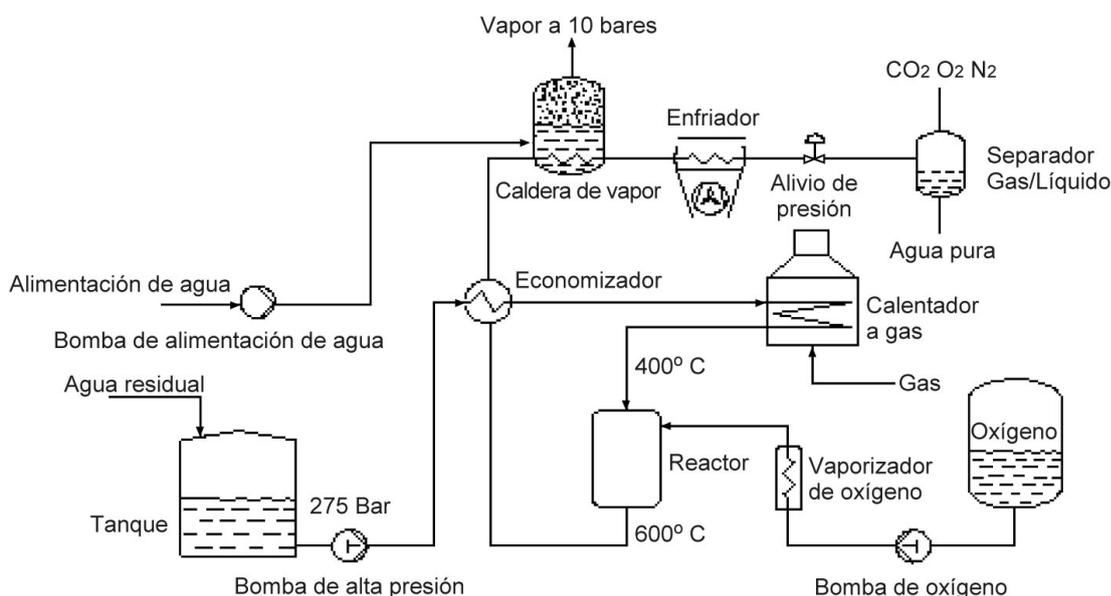


Figura 3.23. Esquema simplificado del proceso de SCWO

El efluente del reactor fluye al economizador, luego a través de un generador de vapor con recuperación de calor y a través de un refrigerador del efluente. Por último, una válvula de control baja la presión del efluente a condiciones atmosféricas, y las fases líquida y gaseosa se separan.

El contenido orgánicos del agua residual queda reducido a dióxido de carbono, agua y nitrógeno.

Las características del proceso SCWO son:

- Completa solubilidad de compuestos orgánicos en agua supercrítica.
- Completa precipitación de sólidos inorgánicos, como sales.
- Tiempo de reacción para destrucción completa entre 30 y 60 segundos, muy dependiente de la temperatura de reacción.
- Reacción a aproximadamente 25 MPa y 400–600 °C.
- Completa conversión del contenido orgánicos, es decir:
  - El carbono orgánico es convertido a dióxido de carbono
  - El nitrógeno orgánico e inorgánico es convertido a nitrógeno gas.
  - Los halógenos orgánicos e inorgánicos son convertidos al ácido correspondiente.
  - El azufre orgánico e inorgánico es convertido a ácido sulfúrico.
- Destrucción de sólidos volátiles
- Oxidación de sólidos metálicos a su estado de oxidación más elevado.
- Separación de todos los inertes en forma de ceniza fina no lixiviable.

### Aplicación

La SCWO se aplica a contaminantes con baja biodegradabilidad y/o elevada toxicidad en la industria química, petroquímica y farmacéutica. También destruye las dioxinas y PCB, mientras que el rango de tempe-

ratura relativamente bajo de 400-600 °C hace improbable que se produzca NO<sub>x</sub> (esto es, óxidos de nitrógeno excluido N<sub>2</sub>O).

Otro campo de aplicación para la SCWO es el tratamiento de lodos industriales y municipales para destruir los compuestos orgánicos tóxicos, incluidas dioxinas.

### Ventajas / Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se destruye todo el contenido orgánico, independientemente de sus propiedades.</li> <li>Se consigue una eficacia de destrucción muy alta a temperaturas relativamente bajas, lo que produce emisiones libres de NO<sub>x</sub>.</li> <li>No se generan dioxinas.</li> <li>Se requiere un tiempo de reacción muy corto, con tiempo de estancia corto y por lo tanto un bajo volumen del reactor.</li> <li>Puede combinarse con otros tratamientos posteriores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden encontrarse trazas de gas hilarante (N<sub>2</sub>O) y ácido acético.</li> <li>Precipitan sólidos inorgánicos, que pueden causar corrosión</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Comentarios
Compuestos orgánicos	>99	
1,2,4-Triclorobenceno	99,99 <sup>1</sup>	495 °C, 3,6 min
4,4-Diclorobifenilo	>99,99 <sup>1</sup>	500 °C, 4,4 min
DDT	>99,99 <sup>1</sup>	505 °C, 3,7 min
PCB 1234	99,99 <sup>1</sup>	510 °C, 3,7 min
PCB 1254	99,99 <sup>1</sup>	510 °C, 3,7 min
Dioxinas	>99,99 <sup>1</sup>	574 °C, 3,7 min

<sup>1</sup> [cww/tm/27]

### Efectos sobre otros medios

Según el agua residual influente, el efluente contiene trazas de óxido nítrico y ácido acético generadas por el proceso, y también haluros de hidrógeno como producto de degradación de haluros orgánicos, que deben ser tratados en instalaciones de gases residuales corriente abajo. Los sólidos inorgánicos deben desecharse si no pueden reciclarse o utilizarse en otros lugares.

La instalación es una fuente de ruido, debido a la generación de presión. Para reducir el ruido, es necesario aislar el equipo.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Aire, oxígeno	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

### Monitorización

Durante todo el proceso es vital una monitorización detallada de los parámetros operativos como presión, temperatura y contenido de oxígeno para asegurar un funcionamiento sin problemas.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

#### 3.3.4.2.6. Reducción química

### Descripción

La reducción química es la conversión de contaminantes mediante agentes reductores a compuestos similares pero menos nocivos o peligrosos. Son agentes de reducción química comunes:

- Dióxido de azufre
- Sulfito ácido / metabisulfito de sodio
- Sulfato ferroso
- Sulfuro sódico y sulfuro ácido de sodio
- Urea o ácido amidosulfónico (a pH bajo).

Se ponen en contacto con las especies del residuo a un pH y condiciones de concentración adecuadas. La reducción química normalmente produce productos que pueden ser tratados más fácilmente en instalaciones de tratamiento corriente abajo, por ejemplo de precipitación química.

El diseño del reactor de tratamiento depende de su aplicación particular. La instalación básica es un reactor de tanque con agitación continua (CSTR) fabricado a medida según los requisitos del proceso, por ejemplo con material resistente a la corrosión y a la presión, o con una cubierta y conductos para los gases emitidos. Debe disponerse de instalaciones adicionales para eliminar el exceso de agente reductor, por ejemplo con hipoclorito o peróxido de hidrógeno para oxidar el sulfito a sulfato. Los ajustes en el diseño y parámetros operativos, por ejemplo mediante el control del pH y del potencial redox (ORP), pueden aliviar este problema. Las plantas de reducción química no necesitan ser especialmente sofisticadas y costosas. Cuando es apropiado un proceso continuo / automático, el coste de inversión puede ser mayor, pero normalmente se ve compensado por un menor coste operativo. El proceso se realiza en unidades totalmente automáticas que operan controlando un parámetro indicador indirecto, normalmente el ORP.

Debe disponerse de instalaciones de almacenaje para los agentes de reducción, teniendo en cuenta el potencial peligroso de estas sustancias.

### Aplicación

La reducción química se aplica a aguas residuales que contienen contaminantes que no son fácilmente eliminables o que tienen propiedades demasiado peligrosas para permitir su emisión a un sistema de alcantarilla común. Los contaminantes objetivo son compuestos inorgánicos: es menos eficaz con compuestos orgánicos.

Son ejemplos de dichos contaminantes:

- Cromo (VI), que se reduce a cromo (III)
- Cloro o hipoclorito, que se reducen a cloruro
- Peróxido de hidrógeno, que se reduce a agua y oxígeno
- Nitritos, mediante urea o ácido amidosulfónico a pH bajo.

La operación más frecuente corriente abajo en conexión con la reducción química es la precipitación química.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Sustancias	El número de sustancias inorgánicas afectadas es limitado
pH, ORP	El comportamiento depende mucho del pH y del ORP, por lo que el control estricto de estos parámetros es esencial.
Condiciones de reacción	Se requiere una buena agitación.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Permite tratar aguas residuales en un amplio rango de concentraciones (desde algunos g/l a menos de 1 mg/l).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es frecuente la formación de gases; con sulfuro, es posible que se forme sulfuro de hidrógeno.</li> </ul>

### Niveles de emisión / Índices de eficacia alcanzables

Las eficacias de eliminación reportadas son muy altas.

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Agente de reducción	Comentarios
Cromo (VI)			
Cloro			
Hipoclorito			
Peróxido de hidrógeno			

### Efectos sobre otros medios

No se plantean problemas medioambientales particulares. Los gases que se desprenden son capturados y conducidos a instalaciones de tratamiento de gases residuales.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Agente de reducción	
Agente químico para destruir el exceso de agentes de reacción	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

El consumo de agente reductor depende de la carga de contaminantes; el consumo de agentes químicos para destruir el exceso de reactivos depende de la calidad de proceso.

### Monitorización

La reacción es monitorizada y controlada por circuitos de control independientes:

- Adición de sosa cáustica / ácido mediante el control del pH.
- Adición de agente de reducción mediante control del ORP.

Debe comprobarse el efluente, por si hay presencia de exceso de agentes reductores.

### **Economía**

La combinación de grandes concentraciones de contaminantes y la gran cantidad de agente reductor puede hacer que otras técnicas resulten más rentables.

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

#### 3.3.4.2.7. Hidrólisis química

### **Descripción**

Básicamente, la hidrólisis es una tecnología destructiva. Es una reacción química en la que compuestos orgánicos e inorgánicos reaccionan con agua, descomponiéndose en compuestos más pequeños. En algunos casos, la reacción continúa y se forman otros productos – normalmente compuestos de cadena corta y fácilmente biodegradables. Normalmente se requiere el tratamiento corriente debajo de la corriente hidrolizada químicamente, por ejemplo en una EDAR biológica central.

El diseño del reactor de hidrólisis depende de su aplicación. Normalmente, los procesos de hidrólisis operan a temperatura y presión ambiente. Cuando se requiere una temperatura elevada, el reactor debe ir equipado con un sistema de intercambiador de calor con instalaciones de precalentamiento para la entrada de agua residual. En algunos casos, pueden requerirse autoclaves, con el fin de asegurar temperaturas bastante por encima de 100 °C y presiones de hasta 0,5 – 1 MPa. Los procesos son discontinuos y se requiere personal para cargar y vaciar el reactor. Si se obtienen compuestos de bajo punto de ebullición de la degradación química de los contaminantes, la planta puede disponer de instalaciones de vacío para eliminar el líquido contaminado y el vapor y permitir la aplicación de más de un ciclo de temperatura y presión sin necesidad de abrir el reactor.

Dado que el exceso de ácido o base debe neutralizarse después de la operación de tratamiento, debe disponerse de instalaciones adicionales. Los requisitos de seguridad para la manipulación de ácidos y bases fuertes son estrictos. Su uso requiere equipo especial resistente a la corrosión.

Debe disponerse de instalaciones de almacenaje para ácidos y bases, teniendo en cuenta el potencial peligroso de estas sustancias.

### **Aplicación**

La hidrólisis química se aplica a corrientes de aguas residuales que contienen contaminantes no fácilmente biodegradables, o que pueden perturbar el proceso biológico en una EDAR biológica corriente abajo, o que tienen propiedades demasiado nocivas para permitir su descarga en un sistema de alcantarillado común. Son ejemplos de tales contaminantes:

- Haluros orgánicos
- Pesticidas
- Cianuros orgánicos
- Sulfuros orgánicos
- Organofosfatos
- Carbamatos
- Ésteres
- Amidas.

Son operaciones frecuentes en conexión con la hidrólisis química:

- Neutralización química
- Oxidación química
- Precipitación.

La reacción depende mucho de la estructura química, del pH y de la temperatura:

- Un aumento de temperatura comporta el aumento de la velocidad de hidrólisis.
- Un pH alto o bajo puede aumentar la velocidad de reacción, según el reactivo, por ejemplo los ésteres de ácido fosfórico y los cloruros orgánicos se hidrolizan preferiblemente en condiciones alcalinas.
- Los catalizadores pueden aumentar la velocidad de reacción.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
pH	Ácido o alcalino
Temperatura	15–80 °C, hasta 120 °C a presión
Rango de concentración	1 mg/l–100 g/l
Propiedades de las sustancias	Las sustancias que requieren condiciones operativas demasiado drásticas son inadecuadas.
Solubilidad en agua	Una baja solubilidad en medio acuoso puede limitar la aplicabilidad.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden tratarse aguas residuales con un amplio rango de DQO refractaria.</li> <li>• El proceso puede combinarse con muchas operaciones de tratamiento corriente abajo, como adsorción con GAC, desorción con aire/vapor, tratamiento biológico con lodo activado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalmente se necesita la neutralización química de la corriente hidrolizada, lo que comporta una carga adicional de sales al medio receptor y/o una cantidad adicional de lodo para desechar.</li> <li>• Pueden emitirse gases o vapores.</li> <li>• Muchas veces se requiere una presión elevada y/o calentamiento, lo que produce un consumo de energía considerable.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Las eficacias de eliminación dependen fuertemente de la estructura química del compuesto, del pH y de la temperatura. Puede conseguirse una degradación cuantitativa, pero se requieren estudios piloto para determinar las condiciones de tratamiento individuales.

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Condiciones de reacción	Comentarios
DQO			
AOX			

Dado que la eliminación de contenido orgánico refractario y/o inhibidores del tratamiento biológico subsiguiente es el principal objetivo, el comportamiento no se evalúa considerando sólo la eficacia del proceso de hidrólisis, sino también teniendo en cuenta la eficacia del proceso biológico subsiguiente.

**Efectos sobre otros medios**

La hidrólisis química con bases – NaOH y Ca(OH)<sub>2</sub> – o ácidos fuertes – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – no crea normalmente transferencias a otros medios, por ejemplo del agua al aire y/o residuos sólidos, que deban desecharse.

Las emisiones de sustancias olorosas y/o volátiles – si se espera que las haya – se previenen normalmente cubriendo el recipiente u operando en un tanque cerrado y conduciendo el gas de escape a un sistema de eliminación de gases.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Compuestos químicos	
Vapor / agua caliente para calentamiento	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

**Monitorización**

Durante el proceso de hidrólisis es crucial una monitorización detallada de los parámetros operativos, como:

- Temperatura
- pH
- Presión
- Tiempo de residencia.

Debe comprobarse el efluente por si hay degradación de compuestos específicos y exceso de ácidos o bases.

**Economía**

Los costes son:

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

3.3.4.2.8. Nanofiltración (NF) y Osmosis Inversa (RO)

**Descripción**

Un proceso de membrana es la permeación de un líquido a través de una membrana, separándose en permeado, que atraviesa la membrana, y concentrado que queda retenido. La fuerza impulsora de este proceso es la diferencia de presión a través de la membrana.

Las membranas de NF y RO pueden retener todas las partículas hasta un tamaño tan reducido como el de moléculas orgánicas e incluso iones. Siempre que la alimentación esté libre de partículas, estas membranas se utilizan principalmente cuando se desea un reciclaje completo del permeado y/o concentrado.

Las características típicas de las membranas de NF y RO se ilustran en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5.**  
**Características de la nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO)**

Parámetro	Nanofiltración	Ósmosis inversa
Diámetro de poro [ $\mu\text{m}$ ] <sup>1</sup>	0,01–0,001	<0,001
Presión de operación [MPa]	0,5-3 <sup>2</sup>	2-100 <sup>3</sup>
Tamaño de corte [nm] <sup>2</sup>	>1 200–1000 g/mol	<1000 g/mol
Flujo de permeado [ $\text{l m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ]	<100	10–35
Velocidad del flujo transversal [ $\text{m/s}$ ] <sup>2</sup>	1-2	<2
Tipo de membrana	Polimérica asimétrica o compuesta	Polimérica asimétrica o compuesta
Configuración membrana	Tubular con arrollado espiral	Tubular con arrollado espiral

<sup>1</sup> [cww/tm/27]  
<sup>2</sup> [cww/tm/132]  
<sup>3</sup> [cww/tm/159]

Hay disponibles membranas en varios materiales y configuraciones. La modificación óptima para una aplicación particular dependerá de la naturaleza del agua residual, dado que los distintos materiales tienen diversas resistencias a las sustancias disueltas. Los materiales de membrana para NF son, por ejemplo:

- Acetato de celulosa
- Poliamida.

Los materiales de membrana para RO son polímeros orgánicos, como:

- Acetato de celulosa
- Poliamida
- Poliimida
- Policarbonato
- Cloruro de polivinilo
- Polietersulfona
- Poliacetal
- Copolímeros de acrilonitrilo y cloruro de vinilo
- Complejos polielectrolitos
- Cross linking de alcohol polivinílico
- Poliacrilatos.

Las membranas a base de poliamida son normalmente superiores a las membranas a base de acetato de celulosa para la eliminación de trazas de moléculas orgánicas.

Los procesos de NF y RO se realizan normalmente en flujo transversal, es decir, el flujo de permeado se dirige perpendicularmente al flujo de alimentación. Las impurezas se quedan en la alimentación que, reducida en volumen, sale del sistema de membrana como corriente residual concentrada.

Incluso con los mejores regímenes y programas de pretratamiento, las membranas se ensucian y deterioran si no se asegura su limpieza. Por ello, los sistemas de membranas deben estar diseñados de tal manera que los módulos puedan desmontarse y limpiarse mecánica o químicamente.

Una planta industrial de membranas suele consistir en tres secciones separadas:

- La sección de pretratamiento, en la que la alimentación se trata mediante clarificación química (precipitación, coagulación / floculación o flotación) y filtración subsiguiente, o mediante filtración y UF subsiguiente.
- La sección de membrana, en la que se aplica alta presión y se pasa el agua residual en flujo transversal a través de la membrana.
- La sección de postratamiento, en la que el permeado se prepara para su reutilización y descarga, y se recoge la salmuera de concentrado para su posterior elaboración o desecho.

Como ejemplo, en la Figura 3.24 [cww/tm/4] se ilustra una configuración típica de RO.

Las unidades de membrana se disponen como módulos en paralelo –para proporcionar la capacidad hidráulica suficiente– con el fin de aumentar el grado de eficacia.

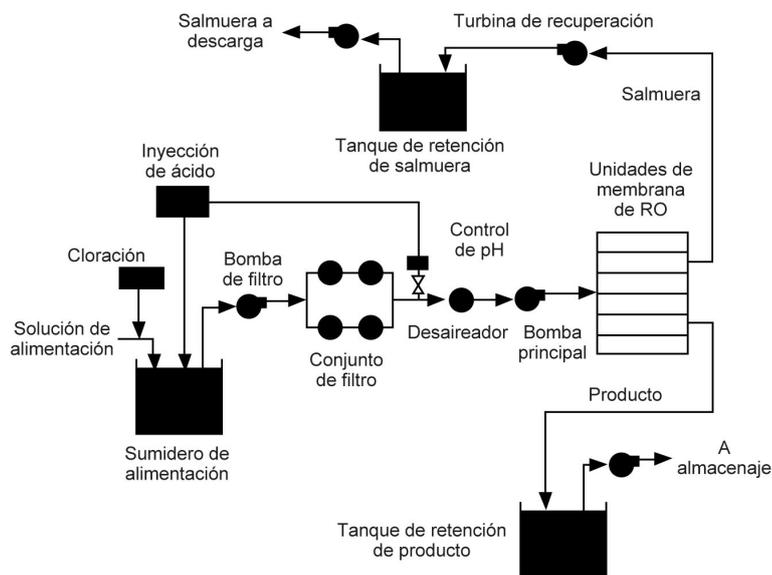


Figura 3.24. Configuración de ósmosis inversa (RO)

### Aplicación

La NF y la RO tienen distintas aplicaciones debido a las distintas propiedades que presentan en la migración de partículas moleculares a través de su superficie.

La NF se aplica para eliminar grandes moléculas orgánicas e iones multivalentes con el fin de reutilizar o reciclar el agua residual o reducir su volumen y aumentar simultáneamente la concentración de contaminantes hasta un grado tal que sean factibles procesos de destrucción subsiguientes.

La RO es un proceso para separar el agua y los componentes disueltos hasta el nivel de especies iónicas. Se aplica cuando se requiere un alto grado de pureza. La fase acuosa separada es reciclada y reutilizada. Son ejemplos:

- Desalinización
- Eliminación final de, por ejemplo:
  - Componentes degradables ni no hay disponible tratamiento biológico
  - Metales pesados
  - Compuestos tóxicos
- Separación de contaminantes con la finalidad de su concentración o proceso ulterior.

La NF y la RO se suelen utilizar en combinación con técnicas de postratamiento para el permeado, como intercambio iónico o adsorción con GAC.

Límites y restricciones de aplicación:

		Límites / restricciones
<b>NF</b>	Tamaño de partícula	Capacidad restringida para retener las partículas suspendidas con peso molecular <200.
<b>RO</b>	Concentración	Soluciones concentradas con presión osmótica tan alta que excede la presión operativa disponible o no es económicamente viable.
	Solubilidad de las sales	Las soluciones de sales con baja solubilidad tienden a precipitar y causan ensuciamiento.
	Monómeros de polimerización	Los contaminantes que tienden a polimerizar causan ensuciamiento.
<b>Ambas</b>	Material de la membrana	La baja resistencia térmica y química limita su aplicación a un rango de pH y temperatura restringido (18-30 °C)

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta eficacia de separación.</li> <li>Sistemas modulares, es decir, de uso flexible.</li> <li>Es posible el reciclaje de permeado y concentrado.</li> <li>Bajas temperaturas operativas.</li> <li>Posibilidad de operación totalmente automática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posibilidad de procesos de obstrucción, taponamiento y ensuciamiento.</li> <li>Compactación en presencia de agentes ablandadores de agua.</li> <li>Se requiere una presión elevada. Bajos flujos de permeado.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]		Comentarios
	NF	RO	
Mercurio inorgánico	>90 <sup>1</sup>		
Mercurio orgánico	>90 <sup>1</sup>		
Compuestos de cadmio	>90 <sup>1</sup>		
Tetraclorometano	96 <sup>1</sup>		
1,2-dicloroetano	71 <sup>1</sup>		
Triclorobenceno	96 <sup>1</sup>		
Percloroetano	90-92 <sup>1</sup>		
Atrazina	>70 <sup>1</sup>	84-97 <sup>1</sup>	
γ-Hexaclorociclohexano		99 <sup>1</sup>	
DDT		100 <sup>1</sup>	
Aldrina		100 <sup>1</sup>	
Dieldrina		100 <sup>1</sup>	
Diclorvos		98 <sup>1</sup>	
Simazina		95 <sup>1</sup>	
Trifluralina		99 <sup>1</sup>	
Fenitrotión		99 <sup>1</sup>	
Azinfos-metil		98 <sup>1</sup>	
Malatión		99 <sup>1</sup>	
COT	80-90 <sup>2</sup>		
<sup>1</sup> [cww/tm/27]			
<sup>2</sup> [cww/tm/160]			

### Efectos sobre otros medios

El tratamiento con membrana produce una corriente residual (concentrado) de aproximadamente un 10 % del volumen de alimentación original, en el que las sustancias objetivo están presentes a niveles de aproximadamente 10 veces su concentración en el agua residual. Debe realizarse una evaluación de si este residuo puede ser reciclado o desechado, o si requiere tratamiento ulterior, por ejemplo oxidación húmeda (concentrado de la producción de colorantes [cww/tm/132]).

Con sustancias orgánicas, el aumento de concentración puede mejorar las condiciones para procesos oxidativos de destrucción subsiguientes. Con sustancias inorgánicas, la etapa de concentración podría usarse como parte del proceso de recuperación. En ambos casos, el agua del permeado de un proceso de membrana podría tener potencial para reutilización o reciclaje en el proceso industrial, reduciendo el aporte y la descarga de agua.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	
	NF	RO
Material de la membrana		
Agentes químicos de limpieza		
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	1-3 <sup>a1</sup>	1-3 <sup>a1</sup>
<sup>a</sup> aplicación a baja presión, <2,5 MPa		
<sup>1</sup> [cww/tm/161]		

El consumo de energía está directamente relacionado con los requisitos de caudal y presión. Está principalmente asociado con mantener una velocidad de unos 2 m/s a través de la superficie de la membrana.

### Monitorización

Para asegurar un funcionamiento fiable, la diferencia de presión y el flujo a través de la membrana deben monitorizarse continuamente.

### Economía

	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Costes de inversión	Costes operativos	Costes de sustitución
NF		350–1100 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>		60–140 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>
			3,3 EUR/kg TOC <sup>2</sup>	
RO		350–1100 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>		60–140 GBP <sup>1</sup> por m <sup>2</sup> de membrana <sup>a</sup>
		10–12 millones de EUR para 1000 m <sup>3</sup> /h de agua residual		
<sup>a</sup> para membranas tubulares y en espiral				
<sup>1</sup> [cww/tm/93]				
<sup>2</sup> [cww/tm/160]				

Los costes de inversión, incluidas instalaciones de limpieza automática, pueden desglosarse aproximadamente como sigue [cww/tm/93]:

Bombas	30 %
Componentes de membranas sustituibles	20 %
Módulos de membranas (carcasas)	10 %
Conducciones, válvulas, estructura	20 %
Sistema de control	15 %
Otros	5 %

Los costes operativos se derivan de [cww/tm/93]:

- Coste de energía para mantener la presión hidrostática y el caudal de los sistemas.
- Vida prevista de las membranas
- Régimen de mantenimiento requerido
- Factores específicos, como requisitos de mano de obra.

Pueden desglosarse aproximadamente como sigue [cww/tm/93]:

Componentes de membranas sustituibles	35–50 %
Limpieza	12–35 %
Energía	15–20 %
Mano de obra	15–18 %

### 3.3.4.2.9. Adsorción

#### **Descripción**

La adsorción es la transferencia de sustancias solubles (solutos) de la fase del agua residual a la superficie de partículas sólidas muy porosas (adsorbente). El adsorbente tiene una capacidad limitada de eliminación de cada compuesto. Cuando esta capacidad se agota, el adsorbente está “agotado” y debe ser sustituido por material fresco. El adsorbente agotado debe ser regenerado o incinerado.

Los posibles adsorbentes para la purificación de aguas residuales por adsorción se listan en la Tabla 3.6 [cww/tm/132].

**Tabla 3.6.**  
**Adsorbente usados comúnmente y sus propiedades**

Adsorbente	Forma	Superficie específica [m <sup>2</sup> /g]	Volumen de poros [cm <sup>3</sup> /g]	Densidad bruta [g/l]
Carbón activado	granular	500–1000	0,3–0,8	300–550
	polvo	600–1500	0,3–1,0	
Coque de lignito	granular, polvo	200–250	<0,1	aprox. 500
Oxido de $\gamma$ -aluminio	granular, polvo	300–350	0,4–0,5	700–800
Resinas adsorbentes	gránulos	400–1500	porosidad 35–65 % v	650–700

Los procesos de adsorción se dividen en [cww/tm/132]:

- Mezcla, utilizada normalmente para tratamiento discontinuo
- Percolación, aplicable a tratamiento continuo, normalmente con adsorbedor de lecho fijo colocado en dos columnas que se utilizan alternativamente en operación y lavado a contracorriente.
- Proceso de lecho pulsante o de lecho móvil, en forma de percolación continua, con el agua residual y el adsorbente pasando a contracorriente a través de la columna.

Dado que la superficie activa del adsorbente es con frecuencia susceptible a obstrucción y bloqueo, el agua residual necesita estar exenta de contenido sólido de la forma más completa posible, lo que con frecuencia hace necesario un paso de filtración corriente arriba.

En la Figura 3.25 [cww/tm/132] se ilustra un ejemplo de las etapas operativas de un adsorbedor de lecho fijo de dos columnas conectado en serie.

Los recipientes de adsorbedor se suelen construir con material resistente a la corrosión, por ejemplo acero al carbono recubierto, acero inoxidable o plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP).

Son necesarias instalaciones de almacenaje para el adsorbente.

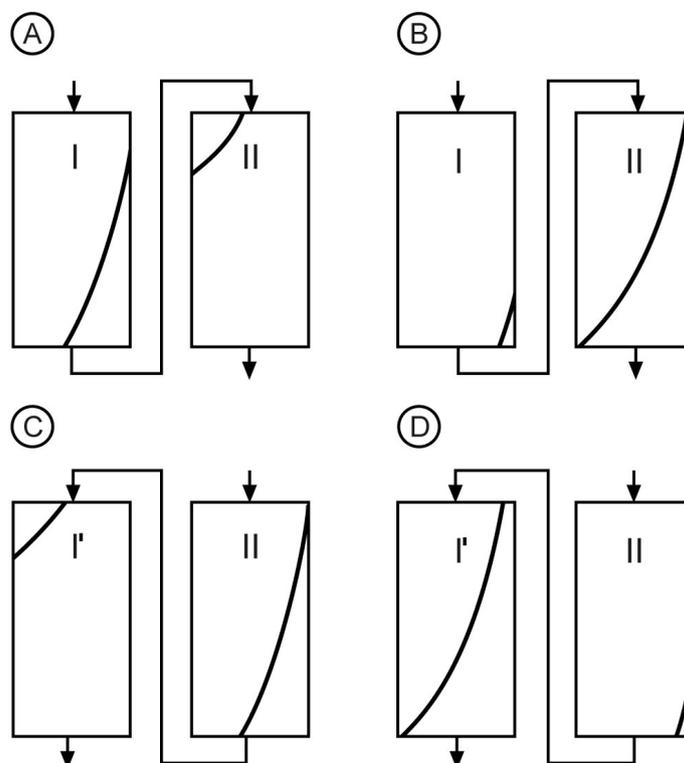


Figura 3.25: Operación de dos columnas de adsorción conectadas en serie

- A) Secuencia I → II, inicio del proceso,
- B) Secuencia I → II, cuando hay que cambiar el filtro I,
- C) Secuencia II → I', poco tiempo después de la sustitución de I,
- D) Secuencia II → I', cuando hay que cambiar el filtro II.

### Aplicación

El adsorbente más comúnmente utilizado en el sector químico es el carbón activado. Se utiliza como granulado (GAC) en columnas o como polvo (PAC) dosificado a un tanque o balsa de tratamiento. Otros adsorbentes comúnmente utilizados son el coque de lignito, óxido de aluminio activado, resinas de adsorción y zeolitas.

- La **Adsorción con GAC** se aplica para eliminar contaminantes orgánicos, principalmente los que tienen características refractarias, tóxicas, coloreadas y/o olorosas, y cantidades residuales de contaminantes inorgánicos, como compuestos nitrogenados, sulfuros y metales pesados. Suelen utilizarse filtros granulares medios, por ejemplo filtros de arena, corriente arriba del adsorbedor de GAC para eliminar los sólidos en suspensión presentes.

Son aplicaciones representativas [cww/tm/92]:

- Textiles y colorantes: Eliminación de COT, color, colorantes
- Refinerías y complejos petroquímicos: Eliminación de DQO, DBO

- Detergentes, resinas, comp. químicos: Eliminación de COT, DQO, xileno, alcoholes, fenoles, intermedios de resinas, resorcinol, c. aromáticos nitrados, polioles
- Herbicidas, insecticidas: Eliminación de clorofenoles, cresol
- Productos farmacéuticos: Eliminación de fenol
- Explosivos: Eliminación de fenoles nitrados

El GAC se regenera normalmente mediante reactivación térmica a temperaturas de unos 900-1000°C.

- La **Adsorción con PAC** se aplica a los mismos contaminantes que el GAC. Se dosifica al agua residual a tratar en forma de lechada y posteriormente se elimina mediante procesos de separación como sedimentación y filtración. También puede agregarse PAC a la corriente de agua residual en el mismo punto que los coagulantes orgánicos, y eliminarse mediante dispositivos de sedimentación y filtración existentes. Normalmente se prefiere que el requisito de eliminación por adsorción de compuestos orgánicos sea intermitente o variable. Puede dosificarse individualmente como y cuando se precise. Otra aplicación es su uso en casos de emergencia para eliminar sustancias refractarias, peligrosas o tóxicas que hayan escapado a un tanque de sedimentación, tanque de lodo activado u otro recipiente. También puede agregarse PAC a la balsa de aireación de un sistema de lodo activado, para que los procesos microbiológicos se vean potenciados por el proceso de adsorción. Los adsorbentes de PAC se utilizan típicamente con un esquema de mezclador-sedimentador o adsorbedor de lechada en combinación con agentes de coagulación / floculación, en el que el PAC se agrega en el paso de floculación, sedimentación o filtración.

Normalmente, el PAC no se regenera, sino que se convierte en parte del lodo a desechar.

- El **coque de lignito** se procesa y aplica como el GAC y puede sustituirlo cuando sean suficientes efectos de limpieza de menor nivel. Su menor precio tiene como contrapartida una menor eficacia de adsorción, lo que hace que se requieran menores cantidades de adsorbente o ciclos de regeneración más frecuentes.
- El **óxido de aluminio activado** se utiliza para adsorber sustancias hidrofílicas, como fluoruros y fosfatos. Cuando está contaminado por sustancias orgánicas, se regenera térmicamente a una temperatura de 750 °C. Si está contaminado por sustancias inorgánicas, se regenera químicamente.
- Las **resinas de adsorción** se aplican para la eliminación específica de contaminantes orgánicos tanto hidrofóbicos como hidrofílicos, es decir, para facilitar la recuperación de los compuestos orgánicos. Las resinas tienden a hincharse con el tiempo por la adsorción de los compuestos químicos.

Las resinas de adsorción se regeneran químicamente con disolventes como metanol o acetona.

- Las **zeolitas** se aplican para eliminar amoníaco o metales pesados, como cadmio. Cuando se aplican a la eliminación de amonio, son sólo eficaces en corrientes muy diluidas (hasta 40 mg/l). Se regeneran mediante elución con soluciones de cloruro sódico con sosa cáustica o cal.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
SST	<20 mg/l con adsorbedores de lecho fijo <sup>1</sup> <10 mg/l con adsorbedores de lecho móvil <sup>2</sup>
Concentración de contaminante	<100 g/l (sin recuperación de adsorbente) <sup>2</sup> <500 g/l (con recuperación de adsorbente) <sup>2</sup>
Peso molecular	Menor eficacia con peso molecular bajo
Longitud de la cadena de carbonos	Menor eficacia con cadenas más largas
Ramificación de la cadena de carbonos	Menor eficacia con cadenas más ramificadas
Polaridad	Menor eficacia con alta polaridad
Solubilidad en agua	Menor eficacia con alta solubilidad
Grado de disociación	Menor eficacia con una mayor disociación
Macromoléculas	Menor eficacia con estructura macromolecular
<sup>1</sup> [cww/tm/4]	
<sup>2</sup> [cww/tm/51]	

La influencia de la polaridad se muestra en la Tabla 3.7 [cww/tm/91]

**Tabla 3.7.**  
**Características de eficacia típicas de la adsorción con GAC con concentraciones de alimentación de unos 1000 mg/l.**

Sustancia	Eliminación [%]	Capacidad [mg/g]
Benceno	95	80
Etilbenceno	84	19
Acetato de butilo	84	169
Acetato de etilo	51	100
Fenol	81	161
Metil etil cetona (MEK)	47	94
Acetona	22	43
Piridina	47	95
Dietanolamina	28	57
Monoetanolamina	7	15
Acetaldehído	12	22
Formaldehído	9	18
Alcohol isopropílico	22	24
Alcohol metílico	4	7

**Ventajas y desventajas**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta eficacia de eliminación (no coque de lignito).</li> <li>Permite la eliminación de compuestos orgánicos refractarios y/o tóxicos (GAC, PAC, lignito, coque, resinas).</li> <li>Normalmente requiere poco espacio adicional.</li> <li>Sistemas automatizados.</li> <li>Posibilidad de recuperación de compuestos (preferiblemente con zeolitas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las mezclas de compuestos orgánicos pueden causar una capacidad de adsorción significativamente reducida.</li> <li>Un alto contenido de compuestos macromoleculares reduce la eficacia y puede causar un bloqueo irreversible de puntos activos.</li> <li>Efecto de decapado en la unidad de lodo activado, lo que causa un importante problema de erosión (PAC).</li> <li>El adsorbente gastado debe ser regenerado (alto consumo de energía) o desechado (lo que produce residuos a incinerar).</li> </ul>

**Valores de emisión / Índices de eficacia alcanzables**

La eficacia de los procesos de adsorción varía ampliamente con la composición del agua residual y la concentración de la alimentación, lo que debe tenerse en cuenta cuando se citan referencias a emisiones alcanzables o eficacias de eliminación.

Las eficacias alcanzables son:

Parámetro	Índice de eficacia [%]						Comentarios
	GAC	PAC	Lignito	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Resina	Zeolita	
Hg inorgánico	80 <sup>1</sup>						Aliment. 29 µg/l
Hg orgánico	80 <sup>1</sup>						Baja alimentación
γ-Hexacloro-ciclohexano	93 <sup>1</sup>						Aliment. 7,7 µg/l
		99 <sup>1</sup>					Aliment. 10 µg/l PAC 85 mg/l
DDT	97 <sup>1</sup> -99,9						
Aldrina	88-93 <sup>1</sup>						
		90-99 <sup>1</sup>					PAC 5-20 mg/l
Dieldrina	86-98 <sup>1</sup>						
		99 <sup>1</sup> [0,1 µg/l]					Aliment. 10 µg/l, PAC 126 mg/l
Atrazina	84 <sup>1</sup>						Aliment. 0,61 µg/l
Endrina		<0,1 µg/l <sup>1</sup>					Aliment. 10 µg/l, PAC 70 mg/l
Diclorvos		99 <sup>1</sup>					
TCB		70-93 <sup>1</sup>					Aliment. 200 µg/l PAC 20 mg/l
Fenitrotión		99 <sup>1</sup>					
Azinfos-metil		99 <sup>1</sup>					
Amoniaco						98 <sup>1</sup> [0,5 mg/l]	Aliment. 25 mg/l
DQO	50 <sup>2</sup>						Lecho móvil, Aliment. 5 g/l
	67-75 <sup>3</sup> [<100 mg/l]						Concentración de alimentación 300- 400 mg/l
Fenoles	75 <sup>2</sup>						Lecho móvil, Aliment. 70 mg/l
	60-80 <sup>3</sup> [1-2 mg/l]						Concentración de alimentación 5 mg/l
AOX	>90 <sup>2</sup>						Lecho móvil, Aliment. 60 mg/l

<sup>1</sup> [cww/tm/27]  
<sup>2</sup> [cww/tm/82]  
<sup>3</sup> [cww/tm/96]

Se reporta [cww/tm/77] que los sistemas de PAC tratan agua residual con una DQO de más de 60000 mg/l, incluyendo compuestos orgánicos volátiles tóxicos de más de 1000 mg/l de compuestos orgánicos tóxicos específicos hasta debajo del límite de detección, es decir una reducción de alrededor del 100 %.

### Efectos sobre otros medios

Una vez agotada la capacidad de adsorción del adsorbente, es sustituido y posteriormente regenerado (excepto el PAC, que se desecha junto con otros lodos de aguas residuales). Como se ha indicado anteriormente, los adsorbentes tienen sus distintos métodos propios de regeneración. Sin embargo, un aspecto común a todos ellos es que necesitan energía y/o agentes químicos para su operación.

GAC, lignito y óxido de aluminio activado (cuando llevan carga orgánica) se regeneran térmicamente a temperaturas de hasta 750–1000 °C. Las resinas, zeolitas y óxido de aluminio activado que transportan carga inorgánica se eluyen con agentes químicos, que pueden ser disolventes orgánicos o soluciones inorgánicas.

Por ejemplo, el proceso de regeneración de GAC libera gases de escape que contienen los productos de descomposición térmica y química de los compuestos absorbidos. Con cada regeneración se pierde un porcentaje de alrededor del 10 % [cww/tm/27], que debe ser sustituido por GAC fresco. Esta renovación continua debe ser adecuada para mantener la cantidad global de GAC en el lecho. La regeneración de GAC sería normalmente realizada por empresas especializadas, que utilizan hornos de regeneración. Estas empresas transportan el GAC de la planta de tratamiento que lo consume a los hornos de regeneración y viceversa. Dado que la regeneración es relativamente cara, las plantas están normalmente diseñadas para que haya un periodo de al menos seis meses entre ciclos de regeneración.

La producción de gases de escape en el proceso de regeneración requiere tratamiento de gases residuales ulterior, que si no se realiza en el mismo complejo químico, tiene lugar en las instalaciones de la empresa regeneradora.

Si el GAC no puede ser regenerado, debe desecharse como residuo químico e incinerarse. Esto puede darse en caso de que el GAC esté contaminado con PCB, dioxinas, metales pesados y diclorobromopropano (DCBP) [cww/tm/77].

La regeneración del adsorbente de zeolitas genera una corriente concentrada de amoníaco, que se conduce a una planta convencional de tratamiento de aguas residuales para su tratamiento biológico o que, alternativamente, es sometida a un tratamiento consistente en desorción con aire para recuperar amoníaco, seguida de adsorción en ácido diluido para formar un fertilizante que puede venderse.

Los consumibles son:

Consumible	GAC	PAC	Lignito	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Resina	Zeolita
Adsorbente	10 % de pérdida por regeneración	0,5-1,0 kg/m <sup>3</sup> de agua residual <sup>1</sup>				
Agentes químicos para regeneración						NaCl/NaOH o cal 10-30 volúmenes de lecho <sup>2</sup>
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]						
<sup>1</sup> [cww/tm/128]						
<sup>2</sup> [cww/tm/27]						

Otros impactos sobre el medio ambiente son:

- El transporte del GAC agotado a regeneración y vuelta
- La operación de regeneración en las instalaciones de una empresa especializada
- El consumo de energía del proceso de regeneración
- La emisión de contaminantes al agua y/o a la atmósfera durante este proceso de regeneración
- Fuentes de ruido, como las bombas, que pueden aislarse.

**Monitorización**

Hay que monitorizar la entada y salida del adsorbedor según los compuestos en cuestión. Normalmente, una medición de COT (para contaminantes orgánicos) o una medición de conductividad para contaminantes inorgánicos sería el método escogido para una alerta de ruptura.

### Economía

Costes	GAC	PAC	Lignito	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Resina	Zeolita
Inversión	30000 GBP <sup>1</sup> [14 m <sup>3</sup> /h]					
	75000 GBP <sup>1</sup> [60 m <sup>3</sup> /h]					
	110000 GBP <sup>1</sup> [120 m <sup>3</sup> /h]					
	20-30 millones FIM <sup>3</sup> [350 m <sup>3</sup> /h]					
Operativos	1000-2000 GBP <sup>1</sup> por tonelada de GAC <sup>a</sup>					
	200000 BEF <sup>2</sup> por tonelada de GAC <sup>b</sup>					
	0,7 FIM /m <sup>3</sup> de agua residual <sup>3</sup>					
<sup>a</sup> Coste de regeneración del GAC <sup>b</sup> Coste del GAC incluida regeneración <sup>1</sup> [cww/tm/92] <sup>2</sup> [cww/tm/128] <sup>3</sup> [cww/tm 96]						

#### 3.3.4.2.10. Intercambio iónico

### Descripción

El intercambio iónico es la eliminación de componentes iónicos no deseados o peligrosos del agua residual y su sustitución por iones más aceptables de una resina de intercambio iónico, en la que son retenidos temporalmente para ser liberados más tarde en un líquido de regeneración o lavado a contracorriente.

El equipo de un intercambiador iónico consiste normalmente en:

- Un recipiente cilíndrico vertical a presión con revestimiento resistente a la corrosión que contiene la resina, normalmente en forma de una columna rellena con varias posibles configuraciones.
- Un sistema de válvulas de control y conducciones, que dirigen el caudal de agua residual y la solución de regeneración a los lugares apropiados.
- Un sistema para regenerar la resina, consistente en equipo de dilución de sales y de control de dilución.

Hay un sistema de distribución de entrada situado en la parte superior o inferior del vaso, que proporciona una distribución uniforme al agua residual influente, para evitar que se formen huecos en los canales de circulación del lecho de la resina. También actúa como colector para el agua de lavado a contracorriente.

Los intercambiadores iónicos de uso común son de resinas granulares macroporosas con grupos funcionales catiónicos o aniónicos, como:

- Intercambiadores catiónicos de ácido fuerte (SAC), que neutralizan las bases fuertes y convierten las sales neutras a sus ácidos correspondientes.
- Intercambiadores catiónicos de ácido débil (WAC), que pueden neutralizar bases fuertes y se utilizan para desalquilación.
- Intercambiadores aniónicos de base fuerte (SBA), que neutralizan los ácidos fuertes y convierten las sales neutras a sus bases correspondientes.
- Intercambiadores aniónicos de base débil (WBA), que neutralizan los ácidos fuertes y se utilizan para desmineralización parcial.

El ciclo de operación de intercambio iónico comprende:

- La operación de intercambio iónico en sí.
- La etapa de lavado a contracorriente, que incluye la eliminación de partículas acumuladas y la reclasificación del lecho de resina de intercambio iónico.
- La etapa de regeneración, que utiliza una solución de bajo volumen / alta concentración, que recarga la resina de intercambio iónico con su ión correspondiente, y libera la especie iónica no deseada a la solución de regeneración.
- El desplazamiento, o enjuague lento, con un flujo lento de agua que desplaza la solución de regeneración a lo largo del lecho.
- El enjuague rápido, que elimina las trazas restantes de la solución de regeneración, incluida la dureza residual, del lecho de resina.

Son necesarias instalaciones de almacenaje para los agentes químicos de regeneración.

### Aplicación

Se aplica intercambio iónico para eliminar las especies iónicas e ionizables no deseadas del agua residual, como por ejemplo:

- Iones de metales pesados – catiónicos o aniónicos, ej.  $\text{Cr}^{3+}$  o cadmio y sus compuestos, con bajas concentraciones de alimentación,  $\text{CrO}_4^{2-}$  también con concentraciones de alimentación elevadas.
- Compuestos inorgánicos ionizables, como  $\text{H}_3\text{BO}_3$
- Compuestos orgánicos solubles, iónicos o ionizables, como ácidos carboxílicos, ácidos sulfónicos, algunos fenoles, aminas como sales de ácidos, aminas cuaternarias, sulfatos de alquilo y mercurio orgánico.

El intercambio iónico es viable como tratamiento de postproducción (final de línea), pero su mayor valor reside en su potencial de recuperación. Se utiliza comúnmente como una operación integrada en el tratamiento de aguas residuales, por ejemplo para recuperar agua de enjuague y compuestos químicos de proceso. Las concentraciones de entrada típicas están entre 10 y 1000 mg/l. Las partículas en suspensión en la alimentación deben tener un nivel inferior a 50 mg/l para evitar taponamientos, por lo que la filtración por gravedad o por membranas es un pretratamiento apropiado.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Concentración de iones	Una elevada concentración iónica hace que las partículas de resina se hinchen.
Temperatura	Los límites térmicos de las resinas aniónicas están por lo general alrededor de 60 °C
Agentes corrosivos	Acido nítrico, ácido crómico, peróxido de hidrógeno, hierro, manganeso y cobre pueden dañar las resinas
Compuestos que interfieren	Compuestos inorgánicos, como precipitados de hierro, o compuestos orgánicos como compuestos aromáticos, pueden causar adsorción irreversible en la resina.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En principio, todos los iones y especies ionizables pueden ser eliminados de líquidos acuosos.</li> <li>• Opera sobre demanda, siendo relativamente insensible a las variaciones de caudal.</li> <li>• Es posible una alta eficacia.</li> <li>• Permite la recuperación de especies valiosas.</li> <li>• Es posible la recuperación de agua.</li> <li>• Hay disponible una gran variedad de resinas específicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere prefiltración.</li> <li>• Crecimiento de bacterias en la superficie de la resina y ensuciamiento causado por precipitación o adsorción.</li> <li>• Interferencia de iones en competencia en el agua residual.</li> <li>• Atrición de partículas de resina, debido a regeneración o impactos mecánicos.</li> <li>• La salmuera y el lodo resultantes de la regeneración deben tratarse o desecharse.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Las concentraciones típicas de iones en el efluente que pueden conseguirse son del orden de 0,1–10 mg/l con concentraciones en el influente de 10–1000 mg/l.

Parámetro	Concentración [mg/l]	Índice de eficacia [%]	Comentarios
Iones en el efluente	0,1–10	80–99 <sup>1</sup>	Concentraciones en el influente de 10–1000 mg/l
Cobre			
Níquel			
Cobalto			
Zinc			
Cromo (III)			
Cromo (VI)			
Hierro			
Sulfatos			
Nitratos			
<sup>1</sup> [cww/tm/128]			

### Efectos sobre otros medios

La regeneración de resinas de intercambio iónico produce un pequeño volumen de solución concentrada de ácido o sales, que contiene los iones eliminados que se originan en la resina. Este líquido enriquecido debe ser tratado por separado para eliminar estos iones, como metales pesados, por precipitación.

El agua de enjuague de la regeneración contiene los mismos iones que la salmuera, aunque en concentraciones relativamente bajas. Si esta parte debe descargarse directamente o debe ser sometida a tratamiento dependerá de las concentraciones reales.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Resina de intercambio iónico	
Líquido de regeneración (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, cloruro sódico, hidróxido sódico, etc.	Depende de la cantidad de resina
Agentes químicos, como supresores del ensuciamiento microbiológico	
Agua de lavado a contracorriente y enjuague	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

Las fuentes de ruido son las bombas, que pueden aislarse.

### Monitorización

El influente y el efluente de la columna de intercambio iónico deben monitorizarse detenidamente, por si hay ruptura. Los parámetros que deben controlarse son:

- Caída de presión
- Conductividad eléctrica
- pH
- Concentración en el efluente de los iones a controlar.

## Economía

Los costes de inversión y operativos dependen de la naturaleza de la corriente de alimentación.

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión	60000 GBP <sup>1</sup>	Altura de relleno de 1 m y diámetro de 1 m, columna, válvulas y resina incluidas; Por 0,5 m adicionales de diámetro.
	+ 20000 GBP <sup>1</sup>	
	80000 BEF/m <sup>3</sup> <sup>2</sup>	Intercambiador iónico catiónico
	200000 BEF/m <sup>3</sup> <sup>2</sup>	Intercambiador iónico aniónico
Costes operativos	200 BEF/m <sup>3</sup> <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/92]		
<sup>2</sup> [cww/tm/128]		

### 3.3.4.2.11. Extracción

#### Descripción

La extracción implica la transferencia de contaminantes solubles de la fase del agua residual a un disolvente. Las propiedades deseables para disolventes adecuados son:

- Baja solubilidad y miscibilidad en agua; ej. petróleo crudo ligero, tolueno, pentano y hexano.
- Mayor capacidad de disolución del contaminante que el agua.
- Fácil separación del disolvente y del agua residual, por ejemplo debido a una gran diferencia de densidad.
- Fácil separación de contaminantes, por ejemplo debido a un bajo calor de evaporación cuando se aplica destilación.
- Baja toxicidad.
- Estabilidad térmica.

La extracción se realiza en columnas en las que el agua residual entra en contacto con el disolvente orgánico en diversos modos, por ejemplo:

- Cascadas a contracorriente
- Contactores de mezcla – sedimentación
- Columnas con platos de tamiz
- Columnas rellenas
- Torres de rociado
- Contactores de discos giratorios
- Contactores centrífugos para diferencias de densidad bajas.

Se utilizan instalaciones corriente abajo para separación líquido / líquido y destilación de la fracción de disolvente. En la fase de agua residual remanente normalmente es necesario eliminar el disolvente de extracción disuelto, por ejemplo mediante desorción o adsorción con GAC.

Hay que disponer de instalaciones de almacenaje para el disolvente y el residuo de extracción, equipadas con los elementos de seguridad necesarios para evitar emisiones a la atmósfera y el suelo.

#### Aplicación

La extracción con disolventes se utiliza con una variedad de contaminantes orgánicos y complejos metálicos, cuando se dispone de un disolvente adecuado y si la concentración de contaminantes no es demasiado baja. A bajas concentraciones, la extracción no es compatible con la adsorción o tratamiento biológico. Se utiliza a menudo como pretratamiento para unidades de adsorción y/o tratamiento biológico.

Son ejemplos [cww/tm/82]:

- Eliminación de fenol (proceso Phenosolvan)
- Reciclaje de metales, como zinc
- Reciclaje de sustancias de licores madre
- Eliminación de ésteres del ácido fosfórico
- Eliminación de compuestos aromáticos clorados
- Concentración de ácidos sulfónicos aromáticos como pretratamiento.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Sólidos en suspensión	El agua residual debe estar preferiblemente casi exenta de sólidos en suspensión y emulsiones.
Disolvente	Idoneidad del disolvente (ver arriba); La pérdida de disolvente comporta costes e impacto medioambiental; La regeneración del disolvente puede ser muy complicada y costosa.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite la eliminación y reciclaje de compuestos orgánicos refractarios y/o tóxicos, y de algunos metales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los residuos deben ser desechados o incinerados.</li> <li>• Aplicación limitada debido a las características del disolvente.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
Fenoles	99	<1	Alimentación 10 g/l
DQO			
AOX			
Zinc			
Esteres de ácido fosfórico			

### Efectos sobre otros medios

La pérdida de disolvente orgánico durante la operación causa emisiones de gas residual o de residuo de disolvente al agua residual. Este último requiere tratamiento adicional, por ejemplo desorción, mientras que el primero debe ser conducido por ejemplo a oxidación térmica / catalítica o adsorción.

Tras la recuperación del disolvente (destilación o rectificación), el residuo del fondo que contiene los contaminantes extraídos debe desecharse como residuo químico, normalmente mediante incineración.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Disolvente, restitución de pérdidas	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	
Energía de tratamiento subsiguiente [kWh/m <sup>3</sup> ]	

### Monitorización

La entrada a la unidad de extracción debe comprobarse para evitar la entrada de sólidos no deseados, que pueden causar perturbaciones en el proceso o destrucción de la planta. Es necesario un mantenimiento regular para prevenir o detectar las pérdidas de disolvente al medio ambiente.

### Economía

Los costes son:

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

#### 3.3.4.2.12. Destilación / Rectificación

### Descripción

La destilación o rectificación es la separación del agua residual de sus contaminantes mediante su transferencia a la fase vapor. La fase vapor enriquecida se condensa posteriormente.

La operación del proceso en condiciones de vacío reduce la temperatura de ebullición y permite la separación de sustancias vulnerables.

La destilación y rectificación se realizan en columnas, equipadas con platos o material de relleno, y un dispositivo condensador corriente abajo. El calentamiento suele realizarse mediante inyección directa de vapor para evitar sobrecalentamientos locales.

Hay que disponer de instalaciones de almacenaje, equipadas con los necesarios elementos de seguridad, para destilado y residuo.

### Aplicación

La destilación o rectificación de agua residual tiene aplicación limitada. Se utiliza a menudo como medida integrada en el proceso para recuperar materias de partida y/o productos de licores madre. Como operación de tratamiento de aguas residuales, se aplica, por ejemplo:

- Para recuperar disolvente tras la extracción de agua residual
- Para recuperar disolvente del agua residual, por ejemplo separación de alcoholes de la producción de metilcelulosa.
- Como pretratamiento para eliminar el principal contenido de contaminante de la corriente de agua residual con el fin de recuperarlo, y posteriormente descargar el agua para su tratamiento ulterior corriente abajo.
- Para recuperar compuestos orgánicos de licores de lavado.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Concentración de alimentación	Debe ser bastante grande para que la destilación sea económicamente viable.
Temperatura de ebullición	Suficiente diferencia entre las temperaturas de ebullición del agua residual y los contaminantes; Las mezclas azeotrópicas requieren compuestos auxiliares, o la separación por destilación no es posible.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Permite la recuperación de materias.</li> <li>Permite la eliminación de compuestos orgánicos refractarios y/o tóxicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los residuos deben desecharse, normalmente por incineración.</li> <li>Alto consumo de energía.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
Fenoles	96 <sup>1</sup>	2000	Alimentación 50 g/l
Metanol	97,5 <sup>1</sup>	2000	Alimentación 80 g/l
Epiclorhidrina (ECH)	90 <sup>1</sup>	700	Alimentación 7 g/l
Anilina	97,5 <sup>1</sup>	100	Alimentación 4 g/l
Clorobenceno	90 <sup>1</sup>	10	Alimentación 100 mg/l

<sup>1</sup> [cww/tm/82]

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Vapor (para calentamiento)	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	
Energía del tratamiento subsiguiente [kWh/m <sup>3</sup> ]	

### Monitorización

La entrada a la unidad de destilación / rectificación debe comprobarse a fin de evitar la entrada de sólidos no deseados que podrían perturbar el proceso o dañar la planta. Es necesario un mantenimiento regular de forma que no se produzcan pérdidas de disolvente al medio ambiente, o puedan detectarse a tiempo.

### Economía

Los costes son:

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

### 3.3.4.2.13. Evaporación

#### Descripción

La evaporación de agua residual es un proceso de destilación en el que el agua es la sustancia volátil, dejando el concentrado como residuo en el fondo para su desecho. La finalidad de esta operación es reducir el volumen de agua residual o concentrar los licores madre. El vapor volátil se recoge en un condensador y el agua condensada es reciclada, si es necesario, tras su tratamiento subsiguiente.

La operación al vacío reduce la temperatura de ebullición y permite el reciclaje de sustancias que de otro modo se descompondrían.

Hay muchos tipos de evaporadores. Su idoneidad depende de los requisitos individuales. Son ejemplos de evaporadores:

- Evaporadores con circulación natural, adecuados para materias que no sean sensibles al calor.
- Evaporadores verticales de tubo corto, adecuados para licores no corrosivos o que no cristalicen.
- Evaporadores tipo cesta, utilizados en la industria de fertilizantes para concentrar urea, ácido fosfórico, nitrato amónico, etc.
- Evaporadores de película fina agitados, utilizados para concentración, fraccionamiento, desodorización y desorción en la producción de fármacos, polímeros y compuestos químicos orgánicos e inorgánicos.

Los evaporadores se utilizan normalmente en serie, en la que el calor de condensación de una etapa calienta el condensado (es decir, el agua residual) de la etapa anterior. La operación al vacío minimiza la demanda de energía. Las condiciones de operación normales son de 12–20 kPa y 50–60 °C.

Debe disponerse de instalaciones de almacenaje para residuos antes de su desecho (o reciclaje).

#### Aplicación

La evaporación se aplica cuando se desean o recomiendan corrientes de aguas residuales concentradas, como por ejemplo:

- Para concentrar licores madre y licores del lavado de gases residuales para reciclar sustancias valiosas.
- Para evaporar y cristalizar sólidos, con objeto de recuperarlos o eliminarlos del agua residual efluente.
- Como pretratamiento con el fin de concentrar la corriente residual antes de su explotación térmica, incineración del agua residual o desecho como residuo peligroso.

Las unidades de evaporación deben operar de modo que la energía térmica necesaria se suministre explotando el calor residual de los procesos de producción [cww/tm/82].

Cuando la recuperación de materia es el objetivo principal, se requiere una operación de pretratamiento antes de que pueda iniciarse la evaporación. Son ejemplos de pretratamiento:

- Adición de ácidos, bases, etc. para reducir la volatilidad de los compuestos moleculares.
- Separación de fases líquidas libres insolubles, como aceite.
- Operaciones químicas / físicas para separar metales pesados y/o otros sólidos.

Tras la evaporación, se requiere tratamiento adicional, por ejemplo incineración, si el concentrado no es reciclado.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Ensuciamiento	Los intercambiadores de calor tienden a ensuciarse.
Corrosión	El cuerpo del evaporador y los intercambiadores de calor son vulnerables a sustancias corrosivas.
Sustancias	Las sustancias que forman espumas y las partículas coloidales y suspendidas perturban el proceso; las sustancias volátiles inorgánicas / orgánicas también se evaporan.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite recuperar materias.</li> <li>• Permite la eliminación de compuestos orgánicos refractarios y/o tóxicos del agua residual.</li> <li>• Reduce la cantidad de agua residual.</li> <li>• Reduce la cantidad y volumen de residuos peligrosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los residuos deben ser desechados, normalmente por incineración, si no son adecuados para reciclaje.</li> <li>• Los contaminantes volátiles contaminan el condensado (lo que comporta un tratamiento posterior) o se emiten como gas residual.</li> <li>• Vulnerable a ensuciamiento, corrosión y formación de espuma.</li> <li>• Alto consumo de energía.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Comentarios
Contaminantes	99 <sup>1</sup>	Condensado no reciclado
<sup>1</sup> [cww/tm/128]		

### Efectos sobre otros medios

La evaporación es normalmente un proceso “libre de agua residual”, ya que el condensado se recicla – con o sin tratamiento ulterior – y el condensado se recicla o desecha como residuo, por ejemplo mediante incineración.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Agentes químicos para pretratamiento	
Vapor (para calentamiento)	5–16 kg agua/kg vapor
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

### Monitorización

El adecuado mantenimiento de los intercambiadores de calor es un punto crucial. Las incrustaciones, el ensuciamiento y la corrosión perturban la transferencia de calor al líquido y reducen la eficiencia energética. Hay que monitorizar la concentración de contaminantes, o parámetros indirectos (COT, pH, conductividad, etc.), en el condensado, a fin de evitar la transferencia de contaminantes.

## Economía

Los costes son:

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos	BEF 100-2000 por m <sup>3</sup> de condensado <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/128]		

### 3.3.4.2.14. Desorción (Stripping)

#### Descripción

La desorción o stripping de agua residual es una operación en la que el agua residual se pone en contacto con una corriente de gas de alto caudal con el fin de transferir los contaminantes volátiles de la fase acuosa a la fase gas. Los contaminantes se eliminan del gas de desorción a fin de que pueda ser reciclado al proceso y reutilizado. Los compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles son transferidos del agua residual al gas residual, aumentando mucho la superficie expuesta del agua contaminada. No obstante, la evaporación del agua reduce la temperatura del agua residual, reduciendo con ello la volatilidad de los contaminantes.

Los gases utilizados son aire y vapor:

- La desorción con aire puede realizarse con o sin calentamiento de la columna de desorción, esta última opción se utiliza con compuestos altamente volátiles o vulnerables. La energía de calentamiento necesaria se suministra normalmente aprovechando el calor de proceso.
- La desorción con vapor es una alternativa a la desorción con aire que se aplica a compuestos menos volátiles y/o menos vulnerables. El vapor es normalmente suministrado por el equipo de generación de vapor ya existente en el complejo o mediante el aprovechamiento de calor residual. Si no hay equipo de generación de vapor existente, la desorción con vapor puede no ser viable económicamente.

Las instalaciones de desorción más comunes son:

- Desorbedor de columna rellena, con boquillas de rociado en la parte superior para distribuir agua residual sobre el relleno, el gas de desorción conducido a contracorriente a través del relleno, un sumidero en el fondo para recoger el agua descontaminada, equipado adicionalmente con un calentador de aire (para desorción con aire), sistema de control automatizado y sistema de control de emisiones a la atmósfera (unidad de GAC, incinerador u oxidador catalítico).
- Tanque de desorción, en el que los componentes volátiles son separados por borboteo de gas (aire, vapor) a un tanque de conducción de agua residual.

El equipo consiste en:

- Un tanque de almacenaje intermedio para agua residual
- Un tanque de pretratamiento para ajuste de pH
- Columna(s) de desorción, operada(s) a contracorriente
- Precalentador de alimentación, que recupera calor del condensador de vapor de desorción subsiguiente.
- Condensador, refrigerado por aire o agua.
- Instalaciones corriente abajo para tratamiento de gases.

Los desorbedores pueden funcionar de forma continua o discontinua, esta última modalidad asegura una eficacia consistente y una mayor eficiencia energética que las unidades operadas de forma continua.

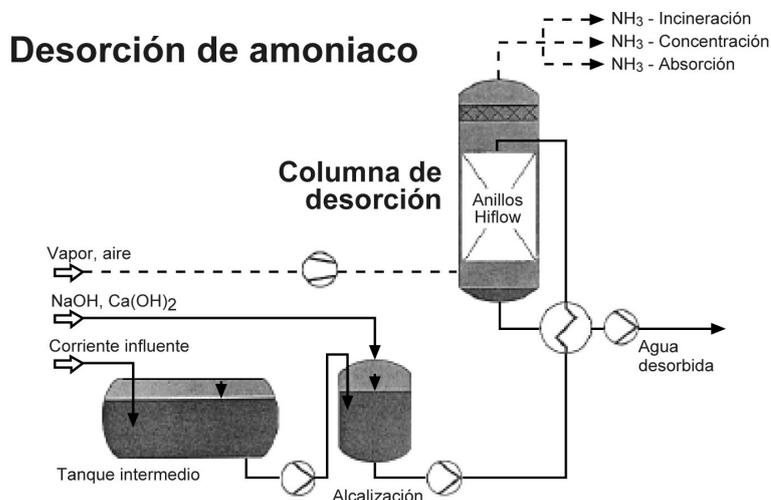
La eliminación subsiguiente de contaminantes volátiles de la fase gaseosa puede realizarse mediante:

- Adsorción sobre GAC, zeolita o resinas sintéticas.
- Adsorción con un disolvente no acuoso y desadsorción subsiguiente.
- Absorción con una solución acuosa, como ácidos fuertes (para absorber amoniaco)

- Condensación o condensación parcial y tratamiento ulterior subsiguiente.
- Oxidación térmica o catalítica.

En la Figura 3.26 [cww/tm/78] se muestra un ejemplo de un proceso de desorción, la desorción de amoníaco con aire / vapor.

**Figura 3.26.**  
**Desorción de amoníaco con aire y vapor**



**Aplicación**

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

- Hidrocarburos clorados, como tricloroeteno, percloroeteno, triclorometano, dicloroetano, tricloroetano.
- Amoníaco y sulfuro de hidrógeno, su volatilidad depende fuertemente de la temperatura y el pH, por lo que el control del pH es esencial (pH >9,5 con amoníaco, pH 2-3 con sulfuro de hidrógeno).
- Amoníaco y sulfuro de hidrógeno juntos en una unidad de desorción con vapor de dos etapas [cww/tm/149].
- Disolventes orgánicos, gasolina, gasóleo, compuestos aromáticos bajos, fenol, mercaptanos.

Si la desorción se realiza con aire o vapor depende de:

- La vulnerabilidad de los contaminantes.
- Si los contaminantes deben recuperarse.
- La disponibilidad de vapor.
- Las condiciones de seguridad (sólo es un aspecto a considerar para altas cargas de COV), etc.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Ensuciamiento	Los intercambiadores de calor tienden a ensuciarse
Sólidos en suspensión	<5 ppm

**Ventajas y desventajas**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficacia de eliminación.</li> <li>• Permite la recuperación de materias.</li> <li>• Baja caída de presión.</li> <li>• Bajo consumo de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En ciertas condiciones (hierro &gt;5 mg/l, dureza del agua &gt;800 mg/l), hay una alta capacidad de ensuciamiento (ej. desorbedores de agua amarga en refinerías), por lo que es necesaria la inyección de agentes anti-ensuciamiento.</li> <li>• El gas de desorción debe tratarse.</li> <li>• Se requiere limpieza frecuente de la columna.</li> </ul>

Niveles de emisión / Índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]		Nivel de emisión [mg/l]		Comentarios
	Aire	Vapor	Aire	Vapor	
Amoniac			<5 <sup>1</sup>		Refinería: bajas concentraciones de alimentación y condiciones óptimas (ejemplos: desorción de agua amarga)
		99 <sup>2</sup>		<50 <sup>2</sup>	Alimentación 10 g/l
	>92 <sup>4</sup>		70 <sup>4</sup>		Filtrado del tratamiento de lodo activado, alimentación 500-1200 mg/l, caudal de alimentación 19-24 m <sup>3</sup> /h
NH <sub>4</sub> -N				5 <sup>3</sup>	Refinería: Proceso en 2 etapas. alimentación 1372 mg/l NH <sub>4</sub> -N <sup>a</sup>
N inorgánico total				7 <sup>3</sup>	Refinería: Proceso en 2 etapas, alimentación 1373 mg/l N inorgánico total
Compuestos orgánicos volátiles	99 <sup>1</sup>				Caudal de alimentación 1 m <sup>3</sup> /h, concentración 2 g/l (diclorometano, triclorometano, benceno, tolueno, xileno, ésteres, éteres)
Metanol		97			Caudal de alimentación 3,4 m <sup>3</sup> /h, concentración 36 g/l
Clorometano				<1 <sup>1</sup>	Caudal de alimentación 6 m <sup>3</sup> /h, concentración >200 mg/l
Diclorometano		99 <sup>1</sup>			Caudal de alimentación 4 m <sup>3</sup> /h, concentración 5 g/l
Tetraclorometano	90-98 <sup>2</sup>				Columna rellena, aire/agua 5-35:1
1,2-Dicloroetano	65 <sup>2</sup>				Columna rellena, aire/agua 35:1
Tricloroetano	69-92 <sup>2</sup>				Columna rellena, aire/agua 4-30:1
	90 <sup>2</sup>				Aireación con rociado
Percloroetano	95 <sup>2</sup>				Columna rellena, aire/agua 5:1
	90 <sup>2</sup>				Aireación con rociado
Metilal		99 <sup>1</sup>			Caudal de alimentación 4 m <sup>3</sup> /h, concentración 30 g/l
Hidrocarburos				1.1 <sup>3</sup>	Refinería: Proceso en 2 etapas, concentración 98 mg/l hidrocarburos
BTX		>99 <sup>1</sup>			Alimentación 400 m <sup>3</sup> /h, concentración 500-1000 mg/l BTX
Sulfuro de hidrógeno			<20		Refinería: desorción gas amargo
Mercaptanos			<20		Refinería: desorción gas amargo
Fenoles		99-99,6 <sup>5</sup>		50-200 <sup>5</sup>	Alimentación 7-8 m <sup>3</sup> /h, concentración 20-40 g/l
				0,1 <sup>3</sup>	Refinería: Proceso en 2 etapas, alimentación 182 mg/l fenoles
Sulfuro				0,5 <sup>3</sup>	Refinería: Proceso en 2 etapas, alimentación 1323 mg/l sulfuro
DQO				37 <sup>3</sup>	Refinería: Proceso en 2 etapas, alimentación 14400 mg/l DQO

<sup>a</sup> Amonio separado concentrado a solución al 10 % y usado para el proceso de-NO<sub>x</sub> en otra planta

<sup>1</sup> [cww/tm/82]

<sup>2</sup> [cww/tm/27]

<sup>3</sup> [cww/tm/149]

<sup>4</sup> [cww/tm/146]

<sup>5</sup> [cww/tm/96]

**Efectos sobre otros medios**

La desorción no se utiliza como proceso individual. Necesita al menos tratamiento de gas posterior. Los compuestos volátiles eliminados son reciclados a un proceso de producción o tratados (lavado, adsorción,

oxidación térmica o catalítica). En general, el tratamiento del gas de desorción es un paso de proceso esencial, y a veces es más complicado que la operación de desorción en sí. Para obtener un tratamiento eficaz en total, tanto la etapa de desorción como el tratamiento del gas de desorción deben estar cuidadosamente ajustados entre sí.

Si el nivel de emisión alcanzado para el agua residual no es suficiente (ver los niveles de emisión alcanzados), debe haber disponible un tratamiento adicional corriente abajo.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	
	Desorción con aire	Desorción con vapor
Agentes químicos para ajustar el pH (ácido, sosa cáustica, cal)	Estequiométrica	Estequiométrica
Agentes anti-ensuciamiento		
Vapor		0,1-0,3 toneladas/m <sup>3</sup> 1,2,
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]		680 3 b
Eléctrica	1,8 4 a	
Gas (calentamiento) [m <sup>3</sup> gas/m <sup>3</sup> agua]	0,5 4	

<sup>a</sup> equipo motorizado, como bombas y ventilaciones  
<sup>b</sup> incluye generación de vapor  
<sup>1</sup> [cww/tm/27]  
<sup>2</sup> [cww/tm/82]  
<sup>3</sup> [cww/tm/96]  
<sup>4</sup> [cww/tm/146]

### Monitorización

Los parámetros a controlar son:

- pH, en particular si interviene amoníaco o sulfuro de hidrógeno
- Alimentación
- Presión
- Temperatura
- Control del nivel de líquido.
- Índice de reflujo de la columna.

### Economía

Tipo de costes	Costes		Comentarios
	Aire	Vapor	
Costes de inversión	4 millones BEF 1		100 m <sup>3</sup> /h
		80 millones BEF 1	50 m <sup>3</sup> /h
	4,0–5,3 millones EUR 2		Desorbedor de agua amarga de refinería, 30-32 m <sup>3</sup> /h
		200–300 mil GBP 3	50 m <sup>3</sup> /h
Costes operativos	BEF 200/m <sup>3</sup> 1	200 BEF/m <sup>3</sup> 1	

<sup>1</sup> [cww/tm/128]  
<sup>2</sup> [cww/tm/48]  
<sup>3</sup> [cww/tm/92]

### 3.3.4.2.15 Incineración de aguas residuales

#### Descripción

La incineración de aguas residuales es la oxidación con aire de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua residual y la evaporación simultánea de la parte acuosa a presión normal y un rango de temperatura entre 730 y 1200 °C, o por debajo de este rango cuando se emplean catalizadores. En la industria química, la incineración de aguas residuales se suele operar centralmente o, como co-incineración, en plantas de combustión de residuos. Los productos de reacción son dióxido de carbono, agua y otros compuestos inorgánicos (óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, haluros de hidrógeno, fosfatos, compuestos de metales pesados), según los contaminantes presentes.

La incineración de agua residual sólo es autosostenible si la carga orgánica es suficiente para asegurar un soporte energético adecuado para la vaporización y calentamiento del agua (DQO >50 g/l). Con una carga orgánica baja, la planta de incineración debe operar con combustible de apoyo. La cantidad de energía adicional se reduce reduciendo el contenido de agua, es decir, mediante evaporación corriente arriba (ver Sección 3.3.4.2.13), aprovechando el calor residual. La instalación de una caldera puede ser un modo conveniente de generar vapor a partir del calor de combustión, que podría usarse para evaporación [cww/tm/132].

Los dispositivos para la incineración de agua residual pueden estar contruidos como cámaras de combustión ordinarias o como incineradores de lecho fluido. Hay una gran demanda sobre la estabilidad y la resistencia a la corrosión del material de la planta. Las cámaras de combustión suelen construirse con cerámica.

La incineración de agua residual puede también realizarse en una planta de combustión ordinaria, con el agua residual como aporte adicional. Puede ser necesario un tratamiento previo para eliminar las partículas que superan un tamaño máximo, con el fin de evitar el bloqueo de los surtidores.

#### Aplicación

La incineración se aplica a aguas residuales que contienen compuestos que no son fácilmente biodegradables o que pueden perturbar el proceso biológico en una EDAR biológica corriente abajo, o que tienen propiedades demasiado nocivas para ser emitidos a un sistema de alcantarillado ordinario. Estos contenidos son, por ejemplo:

- Residuos acuosos de la producción de colorantes.
- Residuos acuosos de la producción de caucho, que contienen cargas de sales extremadamente grandes.
- Extractos acuosos de producciones de pesticidas.
- Residuos acuosos de la producción de poliéster.

La incineración de aguas residuales se prefiere a otras técnicas de tratamiento que tienen la misma finalidad cuando éstas fallan o demuestran ser poco económicas. Es particularmente adecuada cuando [cww/tm/132]:

- Los componentes orgánicos no pueden reutilizarse o cuando el reciclaje es poco rentable.
- Los contaminantes constituyen una mezcla de múltiples componentes en la que tanto la concentración como la relación de mezcla varían continuamente.
- Aparte del contenido orgánico, hay una considerable cantidad de material inorgánico.
- El agua residual es poco biodegradable o es tóxica.
- El contenido de sales es demasiado alto para tratamiento biológico, o sólo puede tratarse tras una dilución considerable.
- La incineración permite el reciclaje de materias de alimentación indestructibles, como sales, o produce productos valiosos.

Las corrientes de aguas residuales adecuadas para incineración suelen estar entre 2 y 30 m<sup>3</sup>/h con concentraciones de DQO entre 50000 y 100000 mg/l. Las concentraciones más bajas requieren combustible de apoyo.

El agua residual de bajo calor de combustión puede inyectarse en hornos rotatorios para co-combustión con residuos.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Halógenos, azufre	El contenido con halógenos y azufre requiere un tratamiento especial del gas de combustión.
Temperatura de combustión	Aumento de los óxidos de nitrógeno al aumentar la temperatura de combustión.
Sólidos, sales	Pueden bloquear los inyectores, por lo que se requiere equipo adecuado.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>El contenido orgánico elevado se elimina casi por completo.</li> <li>Es también posible la eliminación de contaminantes con una elevada concentración de sal.</li> <li>Puede aprovecharse el calor residual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las concentraciones bajas de compuestos orgánicos requieren combustible de apoyo.</li> <li>Residuos sólidos (cenizas en el fondo y volantes) que deben desecharse.</li> <li>La incineración de compuestos con azufre y/o con haluros puede hacer necesario el tratamiento de los gases de combustión, causando aguas residuales y residuos sólidos.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
COT	>99 <sup>1</sup>		
COV	92 <sup>2</sup>	30 <sup>2</sup>	Alimentación 375 mg/l, incineración catalítica
<sup>1</sup> [cww/tm/82]			
<sup>2</sup> [cww/tm/96]			

Los niveles de emisión alcanzables y los índices de eficacia de la tabla están relacionados con la corriente de agua residual que se trata por incineración. Las emisiones a la atmósfera y las descargas de agua residual de la limpieza de los gases de escape están reguladas por la Directiva sobre Incineración de Residuos 2000/76/EC [cww/tm/155] en los Anexos II, IV y V. Cabe esperar más información en el BREF sobre incineración de residuos.

### Efectos sobre otros medios

La incineración de aguas residuales produce gas residual (gas de escape de combustión que puede contener HCl, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> etc.) que, según su contenido, puede requerir tratamiento ulterior, lo que produce más aguas residuales y residuos. Cuando el proceso no puede operar autotérmicamente, se requiere combustible de apoyo. Por otra parte, cuando el calor residual no puede recuperarse o reutilizarse, se emite algo de calor al medio ambiente.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Combustible de apoyo (bajo contenido en COT) <sup>a</sup>	4,5 kg/m <sup>3</sup> de agua residual 12,5 kg/kg COV <sup>1</sup>
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ] <sup>b</sup>	0,09 <sup>1</sup>
<sup>a</sup> Fuel-oil ligero, contenido orgánico 375 mg/l, incineración catalítica	
<sup>b</sup> Energía eléctrica para bombas, quemadores, etc.	
<sup>1</sup> [cww/tm/96]	

### Monitorización

A lo largo del proceso, se requiere una monitorización detenida de los parámetros operativos, como contenido de oxígeno, temperatura, contenido de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, haluros de hidrógeno y polvo, para asegurar un funcionamiento sin fallos.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos	FIM 2,4/m <sup>3</sup> FIM 6,6/kg VOC <sup>1</sup>	8 m <sup>3</sup> /h, concentración de COV 375 mg/l, incineración catalítica
<sup>1</sup> [cww/tm/96]		

#### 3.3.4.3. Contaminantes biodegradables solubles / Tratamiento biológico

La principal línea de producción en la industria química es la producción y manipulación de sustancias orgánicas. Así, la mayor parte del agua residual de la industria química está cargada con contaminantes orgánicos que son más o menos biodegradables y adecuados para técnicas de tratamiento biológico. Las sustancias que pueden perturbar la degradación biológica deben ser eliminadas antes (ver Sección 3.3.4.2).

El tratamiento biológico es la degradación de las sustancias orgánicas disueltas con microorganismos – bacterias– como agentes de oxidación. El nitrógeno y el fósforo orgánico se transforman en amonio y fosfato respectivamente. En general, la biodegradabilidad de una corriente de agua residual puede estimarse por su relación DBO/DQO (antes del tratamiento):

- DBO/DQO <0,2                      agua residual escasamente degradable
- DBO /DQO 0,2–0,4                entre bastante y moderadamente degradable
- DBO /DQO >0,4                    bastante degradable

Existen tres tipos de procesos metabólicos:

- Procesos aerobios, que utilizan oxígeno disuelto.
- Procesos anóxicos, que utilizan la reducción biológica de donantes de oxígeno.
- Procesos anaerobios sin suministro de oxígeno.

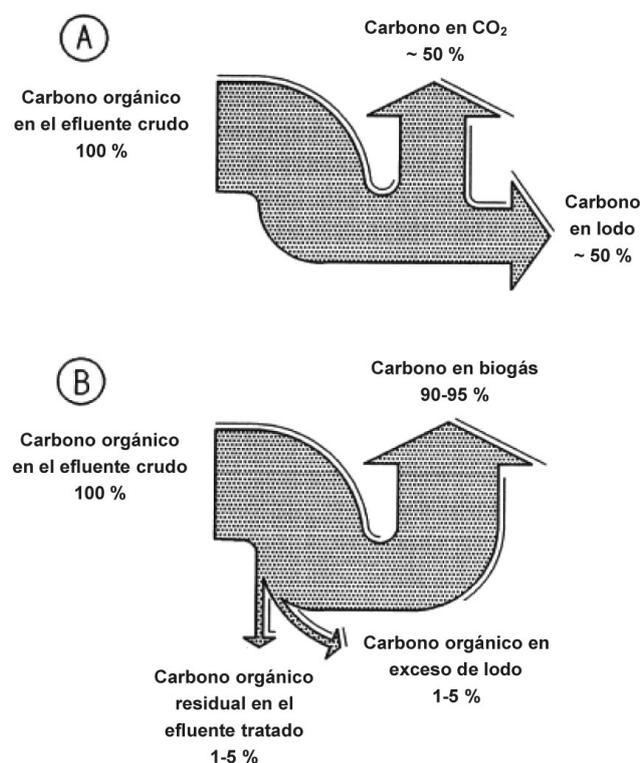
Las principales propiedades de estos tres procesos metabólicos en conexión con el tratamiento de aguas residuales se detallan en la Tabla 3.5. [cww/tm/132].

**Tabla 3.8.**  
**Parámetros de proceso específicos normalmente asociados con el tratamiento biológico anaerobio, anóxico y aerobi**

Parámetro	Anaerobio	Anóxico	Aerobio
Oxígeno disuelto (OD) [mg/l]	0	0	>0
Consumo de energía	Bajo	Bajo	Alto
Producción de lodo	Baja	Alta	Alta
Sensibilidad a sustancias tóxicas	Alta	Baja	Baja
Eficacia de eliminación de DQO	<85 % <sup>a</sup>	Variable, según la desnitrificación	>85 %
Eficacia de eliminación de nitrógeno	0	45-90 % (se requiere nitrificación como primera etapa)	0
Idoneidad como pretratamiento	Sí	Sí	Sí
Idoneidad como tratamiento final	No	No	Sí

<sup>a</sup> Valor normal, puede ser mayor para aplicaciones especiales (ver Sección 3.3.4.3.1, Niveles de emisión / Índices de eficacia alcanzables)

En la Figura 3.27 se ilustra una comparación del balance de carbono de los procesos aerobio y anaerobio [cww/tm/132].



**Figura 3.27.**  
**Balances de carbono en la degradación microbológica aerobia (A) y anaerobia (B) de compuestos orgánicos**

Una ventaja del tratamiento biológico de aguas residuales –independientemente del tipo de proceso metabólico– es la adaptabilidad más o menos rápida de los microorganismos a una amplia variedad de medios nutrientes.

Las técnicas de tratamiento biológico comunes en la industria química se discuten en la siguientes secciones.

### 3.3.4.3.1. Tratamiento anaerobio

#### Descripción

El tratamiento anaerobio de aguas residuales convierte el contenido orgánico del agua residual, con ayuda de microorganismos y sin entrada de aire, en una variedad de productos como metano, dióxido de carbono, sulfuro, etc.. El biogás consiste en aproximadamente un 70 % de metano, un 30 % de dióxido de carbono y otros gases como hidrógeno y sulfuro de hidrógeno [cww/tm/128]. El proceso se realiza en un reactor de tanque agitado hermético, y los microorganismos quedan retenidos en el tanque como biomasa (lodo).

Hay varios tipos de reactores disponibles. Los que se utilizan más comúnmente son:

- Reactor de contacto anaerobio (ACR)
- Reactor de capa flotante de lodo anaerobio (UASB)
- Reactor de lecho fijo.
- Reactor de lecho expandido.

En el **proceso de contacto anaerobio (ACP)**, el agua residual se mezcla con lodo reciclado en un reactor hermético, la mezcla de agua residual / lodo se separa externamente (sedimentación, Sección 3.3.4.1.2., o

flotación al vacío 3.3.4.1.3), y el sobrenadante se descarga para tratamiento ulterior corriente abajo. El lodo anaerobio se recicla al reactor [cww/tm/4]. En la Figura 3.28, se ofrece un esquema.

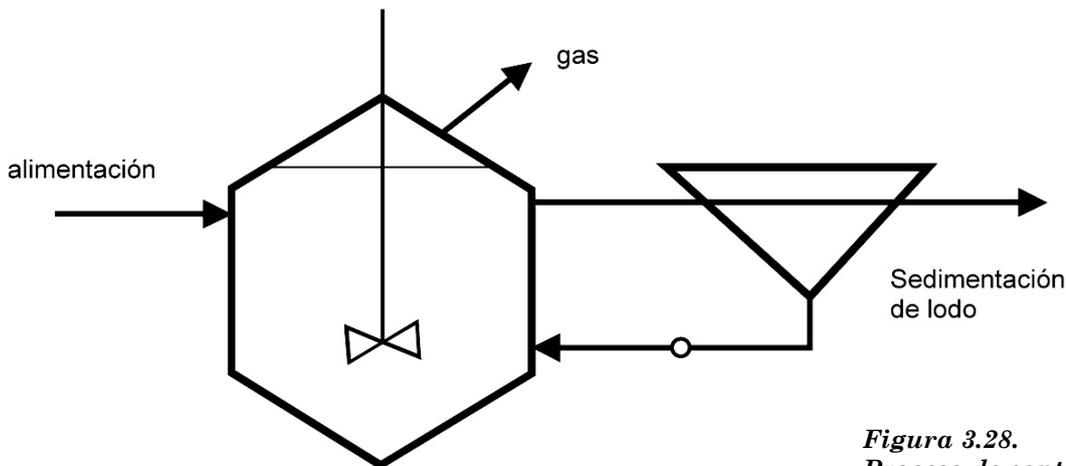


Figura 3.28. *Proceso de contacto anaerobio*

En el **proceso UASB**, el agua residual se introduce en el fondo del reactor, desde donde fluye de forma ascendente a través de una capa de lodo compuesta de gránulos o partículas formados biológicamente. Los gases producidos causan la mezcla del agua residual bruta. La fase de agua residual pasa a una cámara de sedimentación en la que se separa el contenido sólido; los gases se recogen en cúpulas en la parte superior del reactor [cww/tm/4]. El principio se ilustra en la Figura 3.29 [cww/tm/132].

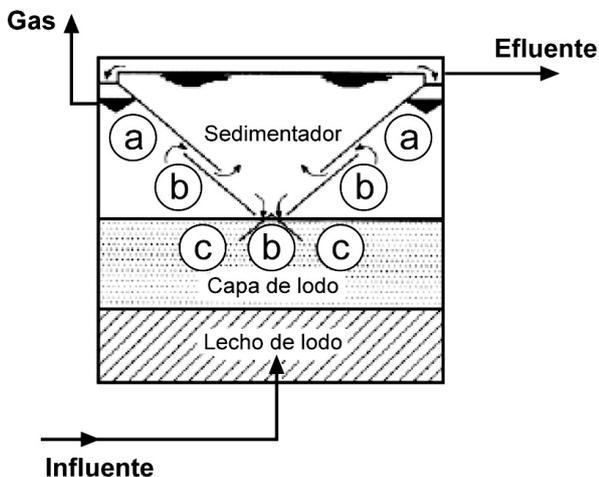


Figura 3.29. *Representación esquemática del proceso UASB*  
 a) lodo – entrada de líquido  
 b) tamices de gas  
 c) abertura de retorno de lodo sedimentado

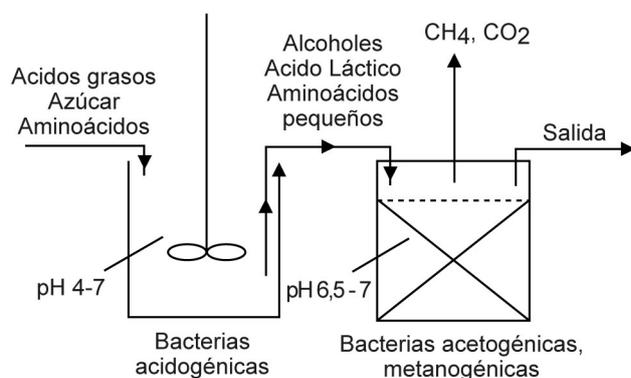
En el **proceso de lecho fijo** o de **filtro anaerobio**, el agua residual tiene flujo ascendente o descendente (según el contenido de sólidos del influente) a través de una columna con distintos tipos de medios sólidos en los que crecen y quedan retenidos microorganismos anaerobios [cww/tm/4].

En el **proceso de lecho expandido**, el agua residual es bombeada hacia arriba a través de un lecho de un medio apropiado (arena, carbón, polietileno, etc.) en el que se ha desarrollado crecimiento biológico en un biofilm. El efluente es reciclado para diluir el agua residual entrante y proporcionar un flujo adecuado para mantener el lecho en estado expandido [cww/tm/4].

El exceso de biomasa es retirado de la superficie y tratado después del biorreactor. No se necesita recirculación de lodo, ya que el portador del biofilm asegura una elevada concentración de biomasa dentro del reac-

tor. La ventaja de esta versión de tratamiento anaeróbico es el reducido requisito de espacio con la misma eficacia. El sistema es más resistente a picos de carga temporales, que de lo contrario podrían causar descargas tóxicas.

Para aumentar la eficacia del tratamiento anaerobio, se introduce una variante en dos etapas, como se muestra en la Figura 3.30.



**Figura 3.30.**  
**Esquema de un proceso de tratamiento anaerobio de dos etapas**

### Aplicación

Esencialmente, el tratamiento anaerobio de aguas residuales se utiliza sólo como pretratamiento para agua residual que se caracteriza por una elevada carga orgánica (>2 g/l) y una calidad más o menos constante [cww/tm/132]. Es aplicable principalmente en sectores con efluentes consistentes y altas cargas de DBO.

El tratamiento anaerobio de aguas residuales industriales ha aumentado en importancia en años recientes debido al aumento de los costes energéticos y problemas con el desecho del exceso de lodo que se forma en los procesos de tratamiento aerobio. Se están haciendo esfuerzos para eliminar los contaminantes orgánicos en la medida de lo posible sin fuentes de energía externas, aprovechando el biogás producido, en los que el nivel de pureza deseado se consigue en último término con ayuda de un paso de clarificación biológica aerobia subsiguiente [cww/tm/132].

Los límites de aplicación y restricciones son:

	Límites / restricciones
Temperatura	20–40 °C
pH	6,5–7,5, pH >8 detiene el proceso de formación de metano.
Sustancias tóxicas	Prevención de sustancias tóxicas, ya que el proceso es sensible a las mismas.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo consumo de energía, en comparación con el proceso aerobio.</li> <li>• Producción de un gas rico en energía, que probablemente puede usarse como combustible de baja calidad reservado para uso local.</li> <li>• Cantidad comparativamente baja (respecto al proceso aerobio) de lodo de clarificación (un décimo del proceso aerobio) (ver Figura 3.27).</li> <li>• En presencia de sulfatos o de compuestos orgánicos con azufre, los compuestos de metales pesados son convertidos a sulfuros y precipitan.</li> <li>• No hay formación de aerosoles ni desorción de sustancias volátiles (en comparación con los procesos aerobios).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta sensibilidad a sustancias tóxicas, lo que puede conducir a una mayor descarga de lodo activado, cuando entran sustancias tóxicas.</li> <li>• Posible producción de gases de escape tóxicos, inflamables y olorosos.</li> <li>• Arranque muy lento.</li> <li>• Índice de eficacia insuficiente para etapa de tratamiento final (eliminación de DQO normalmente &lt;85 %), lo que hace necesario tratamiento ulterior.</li> </ul>

Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Proceso	DQO de entrada [g/l]	Tiempo de detención [h]	Carga orgánica [kg/(m <sup>3</sup> d)]	Eliminación de DQO [%]
ACP <sup>1</sup>	1,5-5	2-10	0,48-2,40	75-90
UASB <sup>1</sup>	5-15	4-12	4,00-12,0	75-85
Lecho fijo <sup>1</sup>	10-20	24-48	0,96-4,81	75-85
Lecho expandido <sup>1</sup>	5-10	5-10	4,81-9,62	80-85

<sup>1</sup> [cww/tm/4]

El índice de eficacia de la eliminación de DQO depende mucho de la biodegradabilidad de las sustancias orgánicas responsables del contenido de DQO. Así, el requisito principal para tratamiento aerobio – y para todo tratamiento biológico – es evitar la introducción de corrientes de aguas residuales no degradables en la medida de lo posible.

En combinación con tratamiento aerobio corriente abajo, los índices de eficacia totales son:

Parámetro	Índice de eficacia [%]
DBO	99-99,8
DQO	95-97

Efectos sobre otros medios

Normalmente, los procesos anaerobios se realizan como etapas biológicas de alta carga que requieren un tratamiento biológico (aerobio) adicional corriente abajo. La ventaja del pretratamiento aerobio es la baja cantidad de exceso de lodo activado que se produce durante el proceso, alrededor de un 10 % en comparación con el proceso de lodo activado aerobio. De este modo, la mayor parte de la carga orgánica degradable (75-85 %) se elimina con un décimo de la formación normal (es decir, aerobia) de exceso de lodo, o sea que en comparación con las técnicas aerobias sólo es necesario desechar un 10 % de residuo.

El proceso de degradación anaerobia produce una mezcla de metano y dióxido de carbono en una relación de 1 - 3 : 1, produciendo un gas combustible de alto contenido energético que normalmente se utiliza como sustituto de combustible u otras instalaciones de suministro de energía. En comparación con los procesos aerobios, el consumo de energía es considerablemente menor, ya que no hay necesidad de suministro de aire u oxígeno al reactor, sino sólo de una agitación eficiente. Globalmente, contribuye a la reducción de dióxido de carbono.

La producción de gases combustibles y la formación de metabolitos como ácidos carboxílicos de cadena corta hacen inevitable el uso de equipo cerrado para evitar la emisión de olores. La eliminación de olores es una necesidad esencial de tratamiento posterior.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Auxiliares (para sedimentación, flotación, etc.)	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

Monitorización

La monitorización de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales se ilustra en el Anexo 7.3.

**Economía**

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión	120 millones BEF <sup>1</sup>	Reactor UASB, 25 m <sup>3</sup> /h, DQO cruda 30 g/l
	3,5 millones NLG <sup>2</sup>	206 m <sup>3</sup> /d, carga de DQO cruda 7300 kg/d o 35 g/l
Costes operativos	40 BEF/m <sup>3</sup> <sup>1</sup>	Reactor UASB, 25 m <sup>3</sup> /h, DQO cruda 30 g/l
	0,3 NLG/m <sup>3</sup> <sup>2</sup>	206 m <sup>3</sup> /d, carga de DQO cruda 7300 kg/d o 35 g/l
Beneficio (biogás)	210000 NLG/año <sup>2</sup>	206 m <sup>3</sup> /d, carga de DQO cruda 7300 kg/d o 35 g/l
	1,5 millones NLG/año <sup>2</sup>	En comparación con la incineración del exceso de lodo

<sup>1</sup> [cww/tm/128]  
<sup>2</sup> [cww/tm/100]

La reducción efectiva de contaminantes orgánicos va unida a la producción de biogás –utilizable como combustible– y una reducción considerable del exceso de lodo activado. Siempre que el biogás pueda aprovecharse, la ecología y la economía se hacen mutuamente interdependientes, es decir, hay una situación de doble beneficio a lo largo de un mayor periodo de tiempo, si se compara el tratamiento anaerobio de baja carga con el tratamiento aerobio final de alta carga y sus costes asociados (incineración o desecho en vertedero de lodos).

3.3.4.3.2. Eliminación biológica de compuestos de azufre / metales pesados

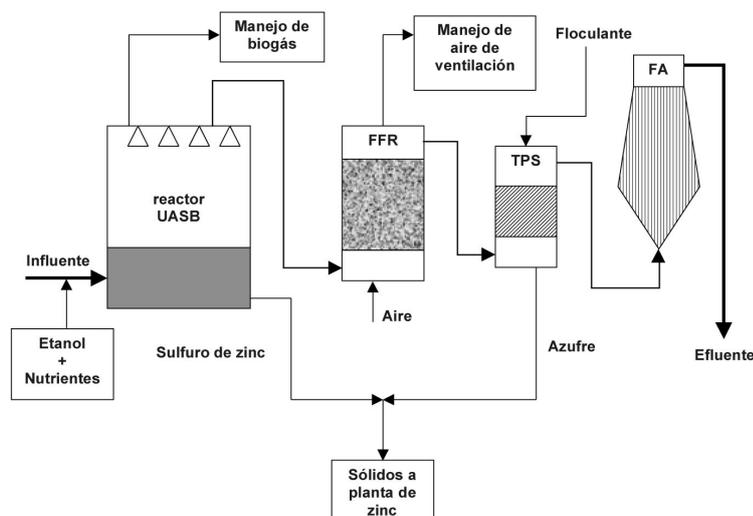
**Descripción**

La eliminación biológica de metales pesados y compuestos de azufre es una aplicación especial del tratamiento anaerobio. Es un proceso en tres pasos consistente en:

- La reacción biológica de sulfatos u otros compuestos de azufre oxidado a sulfuro mediante bacterias que reducen los sulfatos.
- La reacción subsiguiente de iones de metales pesados con sulfuro y la precipitación de los sulfuros de los metales pesados,
- Una segunda reacción biológica para eliminar el exceso de sulfuro y convertirlo a azufre.

El proceso aprovecha la solubilidad mucho menor de los sulfuros de los metales en comparación con sus hidróxidos.

En la Figura 3.31 se presenta un ejemplo de una instalación de tratamiento.



UASB: Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor anaerobio de capa de lodo y flujo ascendente)  
 FFR: Reactor de film fijo  
 TPS: Sedimentador de placas inclinadas  
 FA: Filtro de arena

**Figura 3.31.**  
 Diagrama de proceso de una planta de reducción biológica de metales y sulfatos

Los principales componentes son:

- El reactor UASB, en el que tiene lugar la reducción biológica de sulfato a sulfuro.
- El sistema de manejo de biogás para utilizar o controlar el gas residual que se origina en el UASB.
- El reactor de film fijo, en el que el sulfuro es convertido aerobiamente en azufre, con bacterias fijadas a un material portador.
- El sedimentador de placas inclinadas para separar el azufre.
- La instalación de limpieza final, como por ejemplo un filtro de arena con limpieza continua.

El proceso biológico necesita donantes de electrones, que son normalmente aportados por el contenido de DQO del agua residual. Si el contenido de DQO no es suficiente, deben agregarse donantes de electrones. Son posibles donantes de electrones, por ejemplo:

- Hidrógeno
- Almidón
- Etanol
- Acido fórmico
- Esteres o sales de acetato
- Esteres o sales de propionato
- Lactato.

Además de estas sustancias químicas, también pueden usarse residuos como donantes de electrones, como por ejemplo:

- Serrín
- Melazas.

Si el influente requiere neutralización, una parte del agua residual tras el sedimentador de placas inclinadas o el filtro de arena puede ser recirculada, ya que la conversión de sulfuro a azufre aumenta la alcalinidad.

La manipulación de biogás del reactor UASB y del aire de ventilación del reactor de película fija permiten un funcionamiento sin olores.

### Aplicación

Esta operación de tratamiento biológico es aplicable a todas las corrientes de aguas residuales que contengan una cantidad considerable de sulfatos. Aunque la eliminación de sulfato es posible sin la presencia de compuestos de metales pesados, la eliminación de metales pesados necesita suficiente sulfato para aportar la cantidad suficiente de sulfuro a la reacción de precipitación. La presencia de un contenido suficiente de DQO favorece la eficacia. Una posible aplicación es, por ejemplo, aguas residuales de la producción de fibras de viscosa, en las que zinc, sulfatos y sulfuros son los principales contaminantes.

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Tiempo de residencia	6 h para un reactor UASB <sup>1</sup>
Relación DQO / sulfato	1 : 1, si el contenido de DQO es demasiado bajo, debe agregarse un donante de electrones
Dosificación de floculante en el sedimentador de placas inclinadas (eliminación de azufre)	La dosificación de floculante en el sedimentador debe estar óptimamente ajustada para conseguir una operación estable

<sup>1</sup> [cww/tm/101]

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de sulfatos sin adición de agentes químicos precipitantes.</li> <li>• Posibilidad de eliminación simultánea de metales pesados y sulfatos.</li> <li>• Los metales pesados son separados del agua residual en forma de sulfuros que pueden reutilizarse.</li> <li>• Los sulfuros metálicos tienen menor solubilidad que los respectivos hidróxidos, por lo que pueden alcanzarse estándares más elevados en el efluente.</li> <li>• Al final de la cadena está el azufre, que puede usarse como material de partida en producciones (ej. producción de ácido sulfúrico) o para recuperación.</li> <li>• También permite eliminar DQO y nitratos.</li> <li>• Proceso estable, por lo que las fluctuaciones y perturbaciones en la corriente de agua residual apenas influyen sobre la eficacia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suele ser necesario contenido adicional de DQO como donante de electrones, lo que aumenta los costes operativos.</li> <li>• Los sulfuros metálicos se mezclan con el lodo biológico en el reactor UASB.</li> <li>• No es posible la eliminación de metales pesados sin sulfato.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
Zinc	99,8 <sup>1</sup>	0,05-0,15	influyente 100 mg/l
Cadmio	>99 <sup>1</sup>	<0,01	influyente 1 mg/l
Sulfato	94 <sup>2</sup>	75	influyente 1170 mg/l, presencia de metales pesados
<sup>1</sup> [cww/tm/102]			
<sup>2</sup> [cww/tm/101]			

### Efectos sobre otros medios

Los residuos del proceso de tratamiento son:

- Sulfuros de metales pesados, si hay metales pesados presentes en la corriente de agua residual, mezclados con el exceso de lodo del reactor UASB.
- Azufre, probablemente mezclado con materia sólida, del sedimentador de placas inclinadas.

Los sulfuros pueden, según el tipo de metal, reutilizarse para recuperar el metal. La fracción de azufre, si se recupera separadamente, se produce en forma de torta de azufre, consistente en un 60 % de sólidos secos con una pureza de hasta un 95 %. Puede usarse para la producción de ácido sulfúrico en plantas de ácido sulfúrico con instalaciones para quemar “ácido residual” o lechadas.

Debido a la manipulación del biogás y del aire de ventilación, que es necesaria por motivos de seguridad, el proceso opera sin emisiones de olores. Por lo que respecta a la emisión de ruido, las fuentes habituales son bombas y ventilaciones, que están aisladas.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Agentes neutralizantes	
Donante de electrones	
Floculante	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

### Monitorización

La correcta alcalinidad y la óptima relación DQO / sulfatos (mínimo 1 : 1) influyen sobre la eficacia del proceso de tratamiento, por lo que la monitorización del pH y la DQO de la corriente de agua residual influente es un aspecto importante. También es esencial que el influente esté libre de sustancias que puedan destruir las bacterias que actúan sobre el azufre o inhibir su crecimiento. Por ello, el influente debe estar protegido de tales sustancias. El efluente es monitorizado en cuanto a los contaminantes tratados, como metales pesados, sulfatos, DQO, etc.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

#### 3.3.4.3.3. Tratamiento aerobio

### Descripción

El tratamiento aerobio es a oxidación biológica con oxígeno de sustancias orgánicas disueltas, utilizando el metabolismo de microorganismos. En presencia de oxígeno disuelto – inyectado como aire u oxígeno puro, los compuestos orgánicos son convertidos (mineralizados) a dióxido de carbono, agua u otros metabolitos y biomasa, el lodo activado.

El contenido tóxico del agua residual puede inhibir el proceso biológico. Algunas de estas sustancias tóxicas se muestran en la Tabla 3.9 [cww/tm/132].

**Tabla 3.9.**  
**Concentración umbral de sustancias representativas tóxicas para el lodo activado**

Sustancia	Concentración de inhibición [mg/l]
Cadmio (Cd <sup>2+</sup> )	2–5
Bicromato (CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3–10
Cobre (Cu <sup>2+</sup> )	1–5
Níquel (Ni <sup>2+</sup> )	2–10
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	5–20
Cloro (Cl <sub>2</sub> )	0.2–1
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	0.3–2
Aceites minerales	>25
Fenoles	200–1000
Sulfuro de hidrógeno / sulfuros	5–30

La toxicidad potencial de una sustancia dentro de una EDAR biológica no es una constante predeterminada, sino que es función de las condiciones de exposición y los organismos presentes. El término toxicidad hace referencia a una interacción entre sustancia y organismo. Con una alimentación continua de sustancias tóxicas, el efecto inhibitor disminuye pronto debido a la adaptación, lo que conduce al crecimiento de microorganismos que muestran una resistencia creciente y un mayor potencial de degradación [cww/tm/132].

Las técnicas comunes de tratamiento biológico aerobio son:

- Proceso con lodo activado con mezcla completa

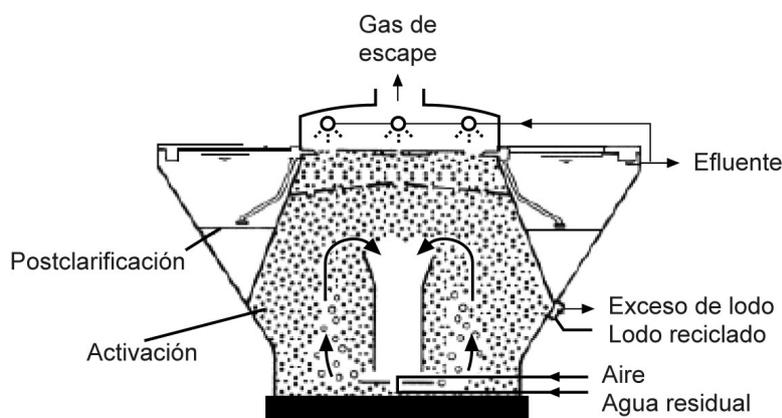
- Proceso de biorreactor de membrana
- Proceso de filtro de goteo o de percolación
- Proceso de lecho expandido
- Proceso de lecho fijo con biofiltro.

Hoy, el **proceso de lodo activado con mezcla completa** es un método que se utiliza frecuentemente en la industria química, y como tal es la técnica de tratamiento más común para aguas residuales biodegradables. Los microorganismos se mantienen en suspensión en el agua residual, y toda la mezcla se airea mecánicamente. La mezcla de lodo activado se conduce a una instalación de separación desde la que el lodo se recicla al tanque de aireación. La instalación de separación puede ser:

- Tanque de sedimentación
- Instalación de flotación por aire
- Membrana de MF o UF (biorreactor de membrana, ver párrafo inferior).

El proceso con mezcla completa se utiliza en diversas variantes, según la cantidad de agua residual, la disponibilidad de espacio, los requisitos de emisiones a la atmósfera, etc.. Son ejemplos de variantes:

- El agente oxidante: aire u oxígeno puro, este último tiene la ventaja de menos efectos de desorción y menor emisión de olores, ya que se sopla menos gas a través del agua residual, así como de una reacción biológica más rápida y eficaz.
- La cámara de aireación: proceso biológico en tanque más o menos plano o en columna, esta última teniendo en cuenta la mayor eficacia de degradación debido a las pequeñas burbujas de aire que ascienden por la columna de agua residual, lo que aumenta considerablemente la transferencia de masa entre aire y agua residual, ver Figura 3.32 [cww/tm/132].
- El paso de clarificación: Sedimentación o filtración con membrana (biorreactor de membrana, ver abajo), ésta última con un menor requisito de espacio, la primera probablemente con el apoyo de una etapa de flotación.



*Figura 3.32: Ejemplo de tratamiento biológico en columna*

El **proceso de biorreactor de membrana**, como combinación de tratamiento biológico con lodo activado y separación con membrana, es un proceso de tratamiento biológico utilizado para aguas residuales urbanas e industriales. Las distintas variaciones de este proceso son:

- Circuito de recirculación externa entre el tanque de lodo activado y el módulo de membrana.
- Inmersión del módulo de membrana en el tanque de lodo activado aireado, en el que el efluente es filtrado a través de la membrana de fibras huecas, y la biomasa permanece en el tanque; esta variante consume menos energía y tiene como resultado plantas más compactas.

Estas variantes, junto con el proceso de lodo activado convencional, se muestran en la Figura 3.33.

El ensuciamiento, un importante problema para las membranas, se disminuye mediante:

- Aireación
- Lavado a contracorriente de la membrana,

Con condiciones específicas adaptadas a cada instalación de tratamiento.

Como barrera física, las membranas permiten mantener la biomasa en el tanque, lo que produce:

- Altas concentraciones de lodo (SST 10-20 g/l)
- Una elevada duración del lodo (o tiempo promedio de residencia en la celda, MCRT).

Un biorreactor de membrana es una instalación compacta (5 veces más compacta que una planta convencional de lodo activado; el módulo de membrana sustituye el tanque de clarificación) que produce una cantidad significativamente menor de exceso de lodo. Por otra parte, el consumo de energía, debido al bombeo, puede ser significativamente mayor que el de un proceso de lodo activado convencional.

En el **proceso de filtro de goteo o percolación**, los microorganismos están fijados a un medio altamente permeable a través del cual se hace gotear (o percolar) el agua residual. El medio de filtro es normalmente roca o distintos tipos de plástico. En la Figura 3.34 se ofrece una vista esquemática[cww/tm/132].

El líquido se recoge en un sistema de desagüe inferior y se pasa a un tanque de sedimentación, y parte del líquido el reciclado para diluir la concentración del agua residual entrante.

El **proceso de lecho expandido** funciona del modo descrito para el tratamiento aerobio (ver Sección 3.3.4.3.1), con la diferencia de se introduce aire u oxígeno y que en el biofilm se fijan bacterias aerobias en lugar de anaerobias. La ventaja de esta versión de tratamiento aerobio es el requisito de espacio reducido con la misma eficacia.

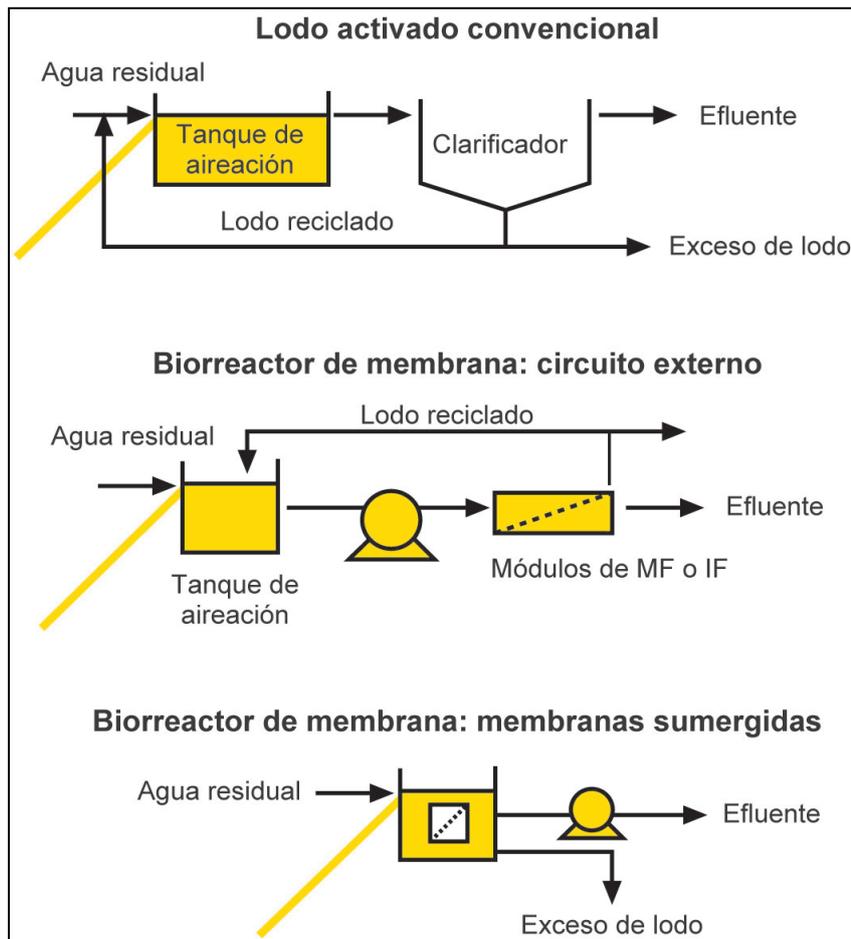
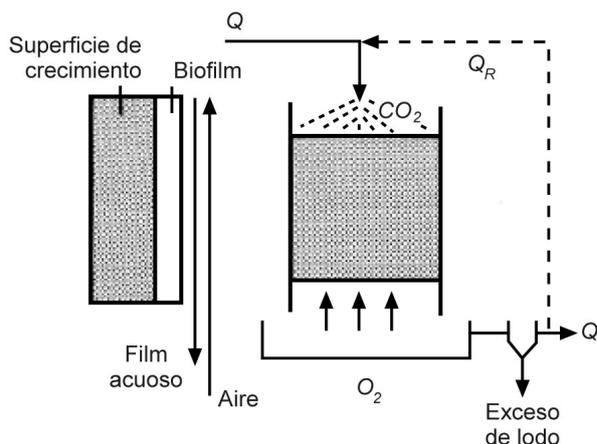
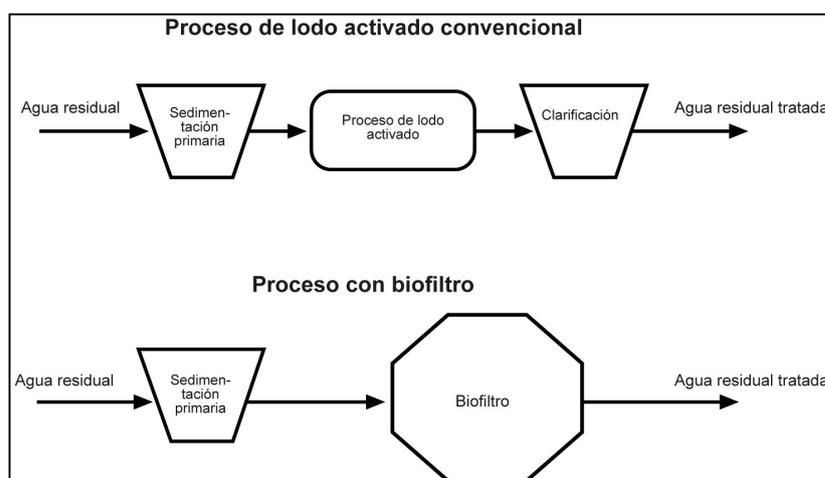


Figura 3.33: Variantes del biorreactor de membrana, en comparación con el proceso de lodo activado convencional



**Figura 3.34: Vista esquemática de un filtro de goteo**  
**Q: Agua residual**  
**Q<sub>R</sub>: Agua reciclada**

En el **proceso de lecho filtro con biofiltro**, el biofilm se mantiene en la superficie de un portador. La corriente de agua residual es tratada al pasar a través de este biofilm; los sólidos en suspensión quedan retenidos en el filtro, del que son lavados a contracorriente regularmente. Esta tecnología ha sido desarrollada como una alternativa compacta (alto rendimiento por volumen y omisión del clarificador secundario) e inodora al proceso de lodo activado convencional (ver Figura 3.35).



**Figura 3.35. Proceso de biofiltro en comparación con el proceso de lodo activado convencional**

La mayoría de biofiltros sumergidos se basan en un medio con un solo filtro. El flujo de agua en un filtro es ascendente o descendente, y con un medio de hundimiento o flotación. Los biofiltros pueden tener construcción mono o multicapa. Mientras que los biofiltros multicapa se alimentan con agua cruda sin sedimentación primaria, los biofiltros monocapa se utilizan normalmente después de un tratamiento primario para eliminar los sólidos en suspensión.

La frecuencia de lavado a contracorriente depende de las características del efluente. Una frecuencia normal es enjuagar una vez al día con una gran cantidad de agua, pero esto debe adaptarse caso por caso. El lavado a contracorriente opera mediante distintos pasos:

- Agua sólo
- Aire sólo
- Agua y aire.

Una variación del material portador es coque de lignito, debido a su capacidad para absorber en sus poros los contaminantes orgánicos, el oxígeno y el material bacteriano, lo que extiende el tiempo de reacción mucho más que el tiempo de residencia normal. Así, la DQO refractaria es más reducida que en un proceso de lodo activado con mezcla completa, como resultado de una combinación de mejor biodegradación y adsorción sobre el material portador. El coque de lignito cubre la superficie del tanque y sirve como filtro del aire de escape, lo que reduce considerablemente las emisiones olorosas.

## Aplicación

El tratamiento aerobio de aguas residuales representa en general el paso biológico final. Ofrece la ventaja de una alta velocidad de crecimiento del lodo que no sólo permite la manipulación de los diversos componentes del agua residual tóxica, sino que también ofrece una eficacia de eliminación de DQO que es normalmente superior al tratamiento anaerobio.

En general, el **proceso de lodo activado con mezcla completa** es aplicable a todas las corrientes de aguas residuales biodegradables, tanto como pretratamiento de corrientes tributarias de alta carga o como parte principal de una EDAR central.

El **biorreactor de membrana** se utiliza para tratar aguas residuales municipales e industriales, estas últimas procedentes, por ejemplo, de la industria química, la industria alimentaria o la industria de la pasta y el papel, así como lixiviados de vertederos. Es particularmente adecuado para:

- Efluentes con alta DQO y/o carga de amonio
- Reciclaje de agua residual
- Normativas de descarga estrictas
- Cuerpos acuáticos receptores sensibles
- Lodos que son difíciles de sedimentar
- Modernización de plantas existentes
- Instalaciones compactas
- Problemas de molestias (ej. olor)
- Desinfección de agua.

Cuando se utilizan **filtros de goteo** en la industria química, se utilizan como parte de una PTAR central para reducir los contaminantes más fácilmente degradables y mejorar la calidad del lodo en la etapa de aireación subsiguiente.

Los **biofiltros** se utilizan para tratar aguas residuales urbanas y algunas industriales (ej. efluente con alta carga de DQO de la industria de pasta y papel), pero también para modernizar una planta de lodo activado existente (al igual que con los reactores de lecho expandido). La ventaja del biofilm fijo sobre un material portador es la menor vulnerabilidad a los altos contenidos de sales y las mejores condiciones para bacterias de crecimiento lento debido a la retención prolongada en el sistema. Los biofiltros también se utilizan como paso directo de pretratamiento o de limpieza final en un proceso de lodo activado.

Los biofiltros pueden cargarse 2 o 3 veces más que una planta de lodo activado de alta carga y seguir eliminando el 90 % de la DQO [cww/tm/164]. En la Tabla 3.10 [cww/tm/164] se muestra una comparación de las cargas tratadas por distintos biosistemas. La biofiltración consigue la misma eficacia con nitrificación / desnitrificación, pero con una carga más elevada.

**Tabla 3.10. Comparación de las cargas volumétricas tratadas mediante diversos procesos aeróbicos**

	DQO [kg/(m <sup>3</sup> /d)]	DBO [kg/(m <sup>3</sup> /d)]	NH <sub>4</sub> -N [kg/(m <sup>3</sup> /d)]	NO <sub>3</sub> -N [kg/(m <sup>3</sup> /d)]
Lodo activado	0,4-6	0,35-3 <sup>a</sup>	0,04-0,1	0,24-0,72
Lodo activado con aireación enriquecida con oxígeno		2-5 <sup>b</sup>		
Biofiltro	3-25	1,3-10 <sup>a</sup>	0,4-1,5	0,7-6
Filtro de goteo (con soporte de plástico)		1-5 <sup>b</sup>		
Biorreactor de membrana <sup>c</sup>	2-3 <sup>d1</sup>		0,9 <sup>e1</sup>	

<sup>a</sup> DBO<sub>5</sub>

<sup>b</sup> DBO<sub>7</sub>

<sup>c</sup> concentración de lodo 11-25 g/l<sup>1</sup>

<sup>d</sup> picos entre 1,6 y 8,5 kg DQO/(m<sup>3</sup>/d)

<sup>e</sup> del licor de tratamiento térmico

<sup>1</sup> [cww/tm/163]

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Nutrientes	DBO:N:P debe ser 100:5:1; Las relaciones críticas que no deben superarse para asegurar un funcionamiento adecuado son DBO:N 32:1 y DBO:P 150:1
Concentración	Deben evitarse altas concentraciones de sustancias (incluso de sustancias no tóxicas)
Inhibidores	Ver Tabla 3.9
Temperatura	Temperaturas del agua residual de >35 °C pueden ser críticas para los microorganismos
Carga de sal	Las cargas altas de sales (>30 g/l) pueden perturbar el proceso biológico dañando los microorganismos; las técnicas de film fijo son menos vulnerables.

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento rentable de contaminantes orgánicos.</li> <li>• Menor impacto medioambiental que con otros procesos de tratamiento.</li> <li>• Puede tratarse gran cantidad de agua residual.</li> <li>• Eficacia energética relativamente alta en comparación con sistemas de tratamiento no biológico. La energía se produce principalmente por métodos sostenibles (metabolismo de microorganismos con aire y agua).</li> <li>• Degradación principalmente a productos inocuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo de energía para suministrar oxígeno al agua.</li> <li>• Producción de una cantidad considerable de lodo de clarificación (excepto con biorreactor de membrana o biofiltros de lecho fijo).</li> <li>• El proceso de aireación causa efectos de desorción de compuestos volátiles que producen emisiones fugitivas, a menudo causa de olor y aerosoles.</li> <li>• Los procesos con mezcla completa pueden causar abultamiento, lo que produce una descarga excesiva de flóculos activados.</li> <li>• Los procesos biológicos pueden verse inhibidos por contaminantes.</li> <li>• Con biorreactores de membrana, el ensuciamiento de las membranas puede ser un problema.</li> <li>• Alta caída de presión, equivalente a un aumento del consumo eléctrico.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

El principal parámetro para comprobar el índice de eficacia del tratamiento biológico es la DBO, mientras que la degradación de la DQO depende del grado de pretratamiento corriente arriba y del contenido de contaminantes poco degradables. Dado que la DQO refractaria (o concentraciones de contaminantes que actúan como DQO refractaria) no es adecuada para tratamiento biológico, y por lo tanto debe excluirse en la medida de lo posible de una PTAR biológica, parece adecuado listar los niveles de DQO alcanzables.

Parámetro	Índices de eficacia [%]				
	Lodo activado con mezcla completa	Biorreactor de membrana	Filtro de goteo	Lecho expandido	Lecho fijo con biofiltro
SST		99 <sup>5</sup>			
Turbidez		99 <sup>5</sup>			
DBO	97-99,5 <sup>1</sup>	97 <sup>5</sup>	40-90 <sup>2</sup> 85-95 <sup>a 2</sup>	>98 <sup>1</sup>	
DQO (TOC)	76-96 <sup>c 1</sup>	>90-96 <sup>5</sup>		90 <sup>b 1</sup>	26-68 <sup>d 3</sup>
Índice de fenol	>99 <sup>e 4</sup>				75-98 <sup>3</sup>
AOX					55-98 <sup>3</sup>
N inorgánico total		82 <sup>5</sup>			4-50 <sup>3</sup>
NH <sub>4</sub> -N		96-98 <sup>5</sup>			

<sup>a</sup> dos etapas  
<sup>b</sup> 3 biorreactores en serie, la adsorción subsiguiente con GAC produce una reducción de COT del 98 %, reducción de DQO del 99 %  
<sup>c</sup> 96 % con oxígeno puro  
<sup>d</sup> degradación de la DQO refractaria, la planta opera como limpieza después de la EDAR de lodo activado.  
<sup>e</sup> nivel de entrada de fenol 30 mg/l, 2200 m<sup>3</sup>/d de agua residual  
<sup>1</sup> [cww/tm/132]  
<sup>2</sup> [cww/tm/4]  
<sup>3</sup> [cww/tm/151]  
<sup>4</sup> [cww/tm/96]  
<sup>5</sup> [cww/tm/163]

### Efectos sobre otros medios

Los principales aspectos medioambientales del tratamiento biológico aerobio son:

- La introducción de oxígeno en el sistema y sus efectos.
- La producción de lodo activado como resultado del proceso biológico.

El oxígeno se introduce por aireación, que requiere un alto aporte de energía y arrastra el contenido volátil del agua residual a la atmósfera, causando olor. Este impacto puede controlarse por varios medios:

- Sustituyendo el aire por oxígeno puro o por aire enriquecido con oxígeno, la inyección de gas se reduce alrededor del 20 % de la inyección de aire necesaria y con ello se reduce el efecto de desorción así como el consumo energético; no obstante, la ventaja de esta variante del proceso debe ser evaluada detenidamente en comparación con el impacto de la producción de oxígeno, como consumo de energía, aspectos de seguridad, dificultades para desorber el CO<sub>2</sub>, etc.
- Cubriendo los tanques de aireación y conduciendo el aire de escape capturado a un sistema de eliminación corriente abajo (como adsorbedor de GAC, incinerador, biofiltro o lavador húmedo).
- Usando técnicas de tratamiento biológico con portador (biofiltro de lecho fijo), con el equipo cubierto o con el material portador (coque de lignito) actuando como adsorbente de gas.

El tratamiento biológico aerobio produce una cantidad relativamente grande de exceso de lodo activado que debe ser desechado. El tratamiento especial con lodo activado está relacionado con las técnicas de tratamiento biológico aerobio de aguas residuales, in situ o externamente, que se detallan en la Sección 3.4.

Los consumibles son:

Consumible	Lodo activado con mezcla completa	Biorreactor membrana	Filtro de goteo	Lecho expandido	Lecho fijo con biofiltro
Oxígeno (aire o gas puro)					
Agentes neutralizantes					
Floculantes	300-550 kg/tonelada DQO <sup>a 1</sup>				
Nutrientes	23-42 kg/ tonelada DQO <sup>b 1</sup>				
Portador					
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	9,5 <sup>c 1</sup> 0,1 kWh por e.p. <sup>2</sup>				

<sup>a</sup> floculante: ferrosulfato  
<sup>b</sup> ácido o-fosfórico  
<sup>c</sup> incluyendo incineración de lodo  
<sup>1</sup> [cww/tm/96]  
<sup>2</sup> [cww/tm/128]

### Monitorización

La monitorización de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales se ilustra en el Anexo 7.3

### Economía

	Costes				
	Lodo activado con mezcla completa	Biorreactor membrana	Filtro de goteo	Lecho expandido	Lecho fijo biofiltro
Costes de inversión	15-20 millones FIM <sup>a 1</sup>				
Costes operativos	Un 2 % de los costes de inversión <sup>2</sup>				0,2 DEM/m <sup>3 3</sup>
	0,60 FIM/m <sup>3 a 1</sup>				

<sup>a</sup> unos 90 m<sup>3</sup>/h, DQO 500-900 mg/l  
<sup>1</sup> [cww/tm/96]  
<sup>2</sup> [cww/tm/128]  
<sup>3</sup> [cww/tm/151]

Los costes de inversión y operativos dependen mucho de la carga hidráulica y de contaminantes, instalaciones necesarias como API, paso de neutralización, equipo de separación de lodo, etc.. Por ello, la información sobre costes en esta etapa sólo puede ser aproximada y requiere mayor refinamiento en función del equipo y la carga de la planta en cuestión.

#### 3.3.4.3.4. Eliminación biológica de nitrógeno

##### Descripción

El nitrógeno, o más concretamente el amonio, se elimina mediante un tratamiento biológico especial que consiste en dos pasos:

- La nitrificación aerobia, en la que microorganismos especiales oxidan el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) al intermedio nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) que luego es convertido a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).
- La desnitrificación anóxica, en la que los microorganismos convierten los nitratos a nitrógeno gas.

Como todos los procesos biológicos, la nitrificación / desnitrificación es vulnerable a sustancias tóxicas o inhibidoras. No obstante, como se ha indicado anteriormente, una alimentación cuidadosa de bajas concentraciones de estas sustancias tóxicas puede producir la adaptación de los microorganismos y por tanto la pérdida completa de los efectos inhibidores, si la concentración no se aumenta considerablemente. Las sustancias con efectos inhibidores se listan en la Tabla 3.11 [cww/tm/27].

**Tabla 3.11.**  
**Inhibidores sustanciales de la nitrificación**

Compuesto	Concentración de inhibición [mg/l] disueltos	Reducción en la eficacia [%]
Tiourea	1	50
Tiosemicarbacida	1	50
Metilditiocarbamato sódico	1	50
Isocianato de metilo	1	50
Isotiocianato de alilo	1	50
1,1-Dicloroetano	125	punto de partida
1,1-Dicloroetano	75	
1,2-trans-Dicloroetano	75	
1-Naftilamina	15	50
2,2-Bipiridina	16 / 20	50
N amoniacal	200	50
Benceno	500	
Dihidrocloruro de bencidina	20-100	50
Benzocaina	>100	50
Benzilamina	>100	50
Tetraclorometano	50	
Clorobenceno	100	
Triclorometano	18	75
Dimetilglioxima	>100	50
Dimetilftalato	100	
Dodecilamina	<1	50
Etilendiamina	17	50
Hexametildiamina	85	50
Monoetanolamina	>100	50
Metilamina	<1	50
Sulfato de metiltiouronio	10	50
Escatol	10	50
Dimetilditiocarbamato sódico	20	50
Ciclopentametileno-tiocarbamato sódico	20	50
Carbonato de guanidina	20	50
Alcohol alílico	20	50
Cloruro de benciltiouronio	20-100	50
Diguanida	20-100	50
Aliltiourea	1	50
Tioacetamida	1	50
Ditio-oxamida	1	50
Mercaptobenzotiazol	1	50
N-Metilalanina	1	50
Naftaleno	50	
Dihidrocloruro de naftiletildiamina	23	50

Compuesto	Concentración de inhibición [mg/l] disueltos	Reducción en la eficacia [%]
Ninhidrina	>100	50
p-Aminopropiofenona	43	50
p-Nitroanilina	31	50
p-Nitrobenzaldehído	87	50
p-Fenilazoanilina	72	50
Fenol	3	30
Acido tánico	>100	50
Tolueno	350	punto de partida
Trietilamina	127	50
Zinc	0,08–0,5	
Cobre	0,005–0,5	punto de partida
Cianuro	0,34	punto de partida
Cromo (VI)	0,25	punto de partida
Plomo	0,5	punto de partida
Mercurio	1	punto de partida
Quinolina	10	50
p-Benzoquinona	10	50
Tetrametiltiuramtiocarbamato	20	50
Piridina	20	50
Cresoles	20	50
Cetil trimetil amonio	20	50
Disulfuro de tetrametiltiuram	20–100	50
Hidracina	20–100	50
8-Hidroxiquinolina	20–100	50
Eter dialílico	20–100	50
Disulfuro de carbono	20–100	50
Diciandiamida	>100	50
Hidrocloruro de estricnina	>100	50
Tiocianato potásico	300	50
EDTA (Etilendiamin tetraacetato)	350	50
Hidrocloruro de N-Metilalanina	550	
Cloruro de cetilpiridinio	20–100	50
Azida sódica	20–100	50
Diclorofeno	20–100	50
Hidrocloruro de trimetilamina	>100	50
2,4,6-Tribromofenol	>100	50
Azul de metileno	100	50
Estreptomina	400	50

Cuando se utiliza nitrificación / desnitrificación, normalmente puede incorporarse en una EDAR biológica central. Un factor vital para la desnitrificación es la relación de oxígeno nitrogenado (nitrato / nitrito) y de DBO (como agente reductor). Hay dos opciones de configuración básicas:

- La etapa de nitrificación como parte de la sección aireada; si es necesario, se mejora la relación N/DBO mediante la adición de COT fácilmente biodegradable, como metanol, a la etapa de desnitrificación subsecuente (ver Figura 3.36).
- La desnitrificación como primera etapa, utilizando el agua residual sin tratar rica en DBO para suministro de energía, seguida de la sección de aireación (nitrificación), reciclando una gran parte del agua residual nitrada a la zona de desnitrificación (ver Figura 3.37).

Cuando sólo corrientes tributarias individuales requieren tratamiento de nitrificación / desnitrificación, es recomendable aplicarlo separadamente del tratamiento central.

La nitrificación / desnitrificación puede integrarse adecuadamente en EDAR biológicas mediante modificaciones en la construcción, como:

- Instalación de paredes de separación
- Instalación de conductos de retorno para aguas residuales que contengan nitratos
- Reutilización del volumen de los tanques existentes
- Uso de un clarificador existente, o
- Ajuste o adaptación del control de proceso.

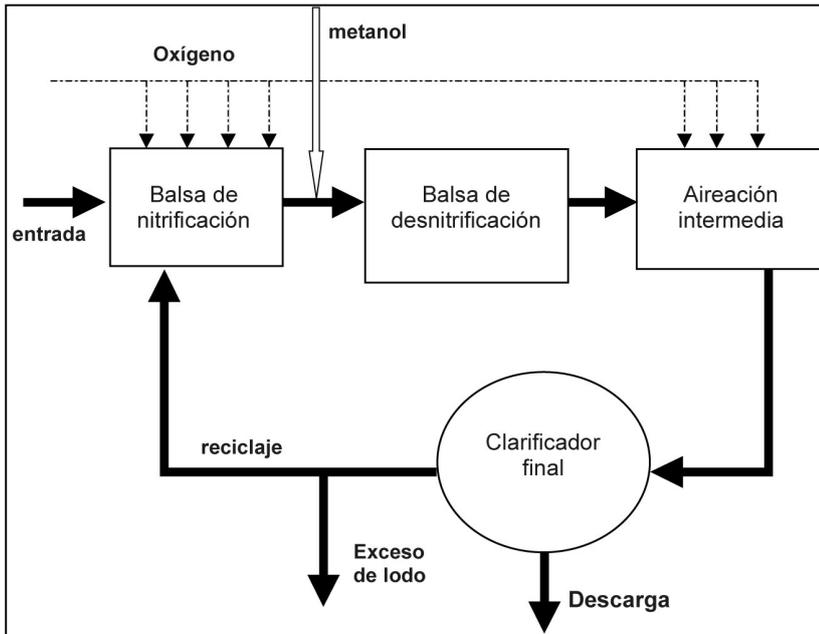


Figura 3.36: Nitrificación / Desnitrificación en serie

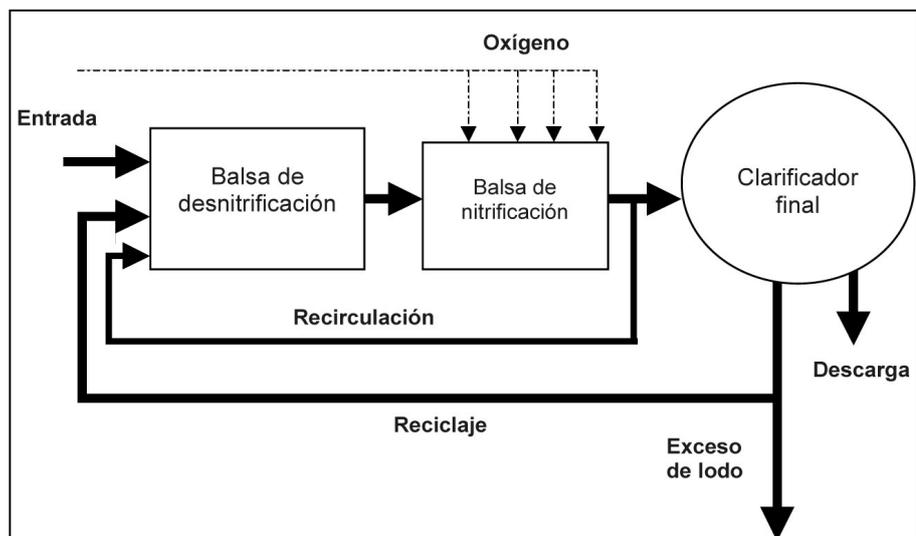


Figura 3.37: Nitrificación / Desnitrificación con desnitrificación como primera etapa

### Aplicación

La nitrificación / desnitrificación se aplica a corrientes de aguas residuales que contienen una cantidad considerable de compuestos nitrogenados, en particular aminas y compuestos de amonio. El control de la descarga de amonio es una medida importante para proteger la calidad del agua superficial (ej. ríos), ya que la conversión de amonio a amoníaco, que depende del pH, produce toxicidad para peces.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Temperatura	>12–15 °C, las temperaturas más bajas restringen el crecimiento bacteriano en el paso de nitrificación
Sustancias tóxicas	Ciertas sustancias actúan como inhibidores (ver Tabla 3.11)
Relación DBO/N	del orden de 12 : 1 <sup>1</sup>
Relación COT/N	del orden de 10 : 1 <sup>1</sup>
Concentración de cloruro	<5 g/l <sup>1</sup>

<sup>1</sup> [cww/tm/160]

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación eficaz de compuestos de nitrógeno.</li> <li>• El proceso puede integrarse en el tratamiento biológico existente, ej. en la planta central de tratamiento de aguas.</li> <li>• Las plantas existentes pueden modernizarse fácilmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionamiento sensible a variaciones en las condiciones, pH, temperatura, inhibidores (ver Tabla 3.11), y al contenido del agua residual.</li> <li>• Emisiones gaseosas a la atmósfera.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/l]	Comentarios
total N inorgánico	70–80 <sup>1</sup>	10–20 <sup>2</sup>	

<sup>1</sup> [cww/tm/128]  
<sup>2</sup> [cww/tm/160]

### Efectos sobre otros medios

Cuando la etapa de nitrificación / desnitrificación es parte de la EDAR central, contribuye a la emisión de sustancias olorosas y volátiles. Las otras emisiones son las esperadas normalmente de instalaciones de tratamiento biológico, lo que significa que puede ser necesario cubrir el equipo, si no se opera con recipientes cerrados, y eliminar los gases liberados.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Alimentación de carbón	
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

Hay que considerar las fuentes comunes de ruido como bombas, chorros y mezcladoras, y tomar las medidas apropiadas, como el aislamiento del equipo.

### Monitorización

La monitorización de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales se ilustra en el Anexo 7.3

### Economía

Tipo de costes	Costes		Comentarios
	Serie nitrí/desnitrí	Serie desnitrí/nitrí	
Costes de inversión			
Costes operativos			

#### 3.3.4.3.5. Tratamiento biológico central de aguas residuales

##### Descripción

La parte principal de la EDAR central es el proceso biológico aerobio de lodo activado (ver Sección 3.3.4.3.3). Alrededor de esta instalación central se agrupan un complejo de operaciones preparatorias y de separación subsiguiente. La planta de aguas residuales central está equipada normalmente con:

- Volúmenes intermedios o de ecualización, si no los aportan otras instalaciones corriente arriba.
- Estación de mezcla, en la que se agregan los agentes de neutralización y floculación (normalmente lechada de cal y/o ácidos minerales, sulfato ferroso); es necesario que esté encerrada o cubierta si hay que prevenir emisiones de sustancias olorosas, y que el aire de escape capturado se envíe a un sistema de eliminación.
- Clarificador primario, en el que se elimina el floculado; es necesario que esté encerrado o cubierto para evitar emisiones de sustancias olorosas, y que el aire de escape capturado se envíe a un sistema de eliminación.
- Parte de lodo activado, por ejemplo:
  - Balsa de aireación con alimentación de nutriente en la entrada, cerrada o cubierta si es necesario, con conductos de aire de escape a un sistema de eliminación.
  - O tanque de reacción cerrado (ej. tratamiento biológico en columna), con conducto de gas a un sistema de eliminación.
  - Etapa de nitrí / desnitrificación (opcionalmente) y eliminación de fosfatos.
- Clarificador intermedio opcional, cuando se utiliza una segunda etapa biológica aerobia, con reciclaje de lodo.
- Segunda parte opcional de lodo activado, para tratamiento biológico de baja carga.
- Clarificador final con reciclaje de lodo y transferencia al tratamiento de lodo; alternativamente filtro de arena, equipo de MF o UF.
- Opcionalmente, instalaciones adicionales de tratamiento especial para eliminar el resto de la DQO refractaria, como biofiltro (ver Sección 3.3.4.3.3).
- Opcionalmente, instalaciones de tratamiento adicional tras el clarificador final, como flotación por aire (ver Sección 3.3.4.1.3)
- Opcionalmente, instalaciones de tratamiento de lodos, como:
  - Digestores (ver Sección 3.4.2)
  - Espesadores de lodo (ver Sección 3.4.1)
  - Deshidratadores de lodo (ver Sección 3.4.1)
  - Incineradores de lodo (ver Sección 3.4.3)
- Instalaciones de eliminación de gases residuales (aire de escape), como:
  - Adsorbedores de GAC (ver Sección 3.5.1.3)
  - Oxidador térmico o catalítico (ver Sección 3.5.2.4 y Sección 3.5.2.5)
  - Antorchas (ver Sección 3.5.2.6).

En la Figura 3.38 se ilustra un ejemplo[cww/tm/81]

### Aplicación

El tratamiento biológico central de aguas residuales se aplica a aguas residuales complejas que se originan en la producción y manipulación de compuestos orgánicos, siempre que el contenido sea biodegradable. Así, las EDAR centrales son instalaciones de final de línea comunes en la industria química. En el Anexo 7.6.1 se dan algunos ejemplos ilustrativos.

Según la descripción dada anteriormente, la EDAR biológica central puede eliminar dos tipos de contaminantes:

- Sólidos en suspensión
- Compuestos biodegradables.

Las aguas residuales con una cantidad considerable de contaminantes que no pertenezcan a estos grupos necesitan tratamiento previo antes de su descarga a la planta central o tratamiento especial (ver Sección 3.3.4.2) sin paso por la planta central. El agua residual que contiene una carga biodegradable extremadamente alta también suele pretratarse (ver Secciones 3.3.4.3.1 a 3.3.4.3.4).

Para límites y restricciones de aplicación, ver Secciones 3.3.4.3.3 y 3.3.4.3.4:

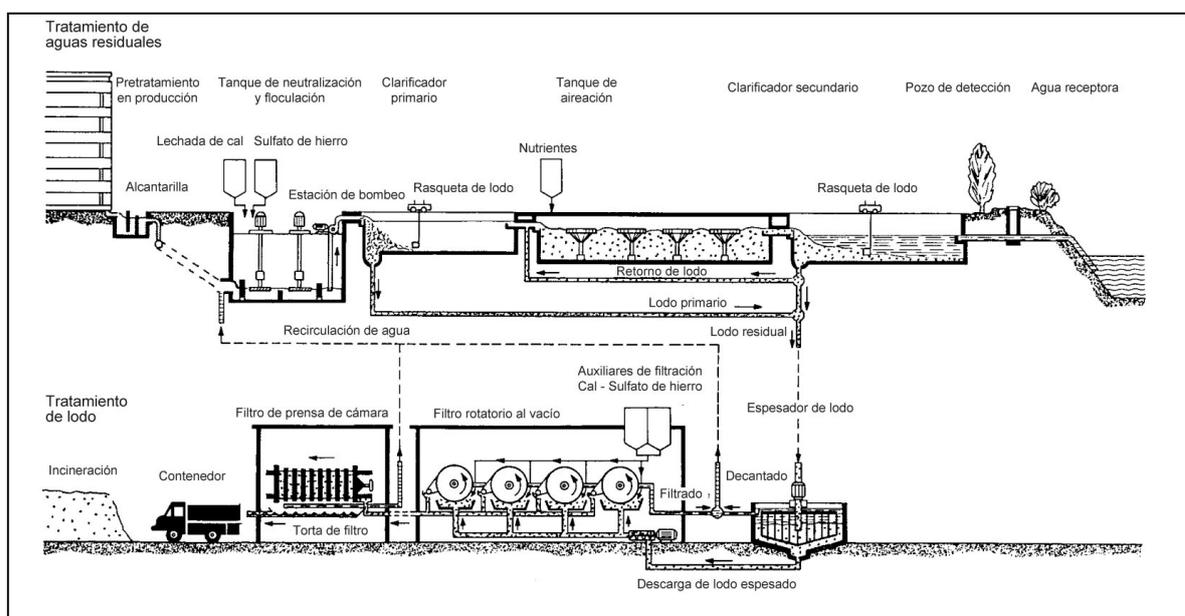


Figura 3.38. Ejemplo de una EDAR central (tratamiento mecánico-biológico-químico)

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tratan grandes cantidades de agua residual.</li> <li>• Los efectos sinérgicos pueden aumentar la eficacia.</li> <li>• La eficiencia energética es alta en comparación con procesos como la adsorción con GAC, incineración, oxidación húmeda. La energía se suministra principalmente por métodos sostenibles (metabolismo de microorganismos con aire y agua).</li> <li>• Degradación normalmente a compuestos menos nocivos (se conocen algunas excepciones cuando los productos de degradación reaccionan con nuevos compuestos en la producción de fármacos y pesticidas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los procesos biológicos pueden ser inhibidos por contaminantes o temperaturas demasiado altas (&gt;35 °) o bajas (&lt;12 °C).</li> <li>• Debe desecharse una gran cantidad de exceso de lodo.</li> <li>• El proceso de aireación causa efectos de desorción de compuestos volátiles, lo que produce emisiones fugitivas olorosas y/o aerosoles.</li> </ul>

**Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables**

El principal parámetro para comprobar el índice de eficacia del tratamiento biológico es la DBO, mientras que la degradación de la DQO depende del grado de pretratamiento corriente arriba y del contenido de contaminantes poco biodegradables. Dado que la DQO refractaria (o las concentraciones de contaminantes que actúan como DQO refractaria) no es adecuada para tratamiento biológico, y por consiguiente debe excluirse en lo posible de la EDAR biológica, lo lógico es detallar los niveles de DQO alcanzables.

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión alcanzable [mg/l]	Comentarios
SST		10 <sup>4</sup>	
DBO	97-99,5 <sup>1,4</sup>	7-10 <sup>4</sup>	
	99-99,8		Pretratamiento anaerobio
DQO (COT) <sup>a</sup>	60-98 <sup>1,2,4</sup>		98 % con oxígeno gas
	95-97		Pretratamiento anaerobio
AOX		<1 <sup>4</sup>	
N inorgánico total	70-80 <sup>3</sup>	10-20 <sup>4</sup>	
Fenol	>99 <sup>5</sup>		Caudal de agua residual 2200 m <sup>3</sup> /d, entrada 30 mg/l fenol
T <sub>F</sub>		2-3 <sup>b,6</sup>	Mediciones en Alemania <sup>c</sup> (valores extremos hasta 24)
T <sub>D</sub>		2-4 <sup>b,6</sup>	Mediciones en Alemania <sup>c</sup> (valores extremos hasta 768)
T <sub>A</sub>		1-16 <sup>b,6</sup>	Mediciones en Alemania <sup>c</sup> (valores extremos hasta 1024)
T <sub>L</sub>		2-12 <sup>b,6</sup>	Mediciones en Alemania <sup>c</sup> (valores extremos hasta 1024)
T <sub>M</sub>		1.5 <sup>b</sup>	Mediciones en Alemania

<sup>a</sup> Considerando que la DQO refractaria se elimina corriente arriba

<sup>b</sup> Cifras sin dimensiones

<sup>c</sup> El valor más elevado es el percentil 90

<sup>1</sup> [cww/tm/132]

<sup>2</sup> [cww/tm/105]

<sup>3</sup> [cww/tm/128]

<sup>4</sup> [cww/tm/160]

<sup>5</sup> [cww/tm/96]

<sup>6</sup> [cww/tm/162, 165]

**Efectos sobre otros medios**

Como ya se ha descrito en la Sección 3.3.4.3.3, el principal impacto del tratamiento biológico aerobio es la necesidad de energía para aireación, en combinación con la mezcla en la balsa de aireación, la producción de una cantidad considerable de exceso de lodo que debe ser desechado y tratado, el efecto de desorción de la aireación que puede producir la emisión de aerosoles y sustancias olorosas volátiles, y el ruido generado por las instalaciones de tratamiento. Las acciones contra las emisiones son cerrar o cubrir las zonas sensibles, como estación de mezcla, clarificador primario y balsa de aireación, y conducir la corriente de aire de escape a un sistema de eliminación de gas. Una medida de control contra el ruido es el aislamiento de ciertos equipos, como las bombas.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Aire u oxígeno	
Agentes neutralizantes	
Floculantes	300-550 kg/tonelada DQO <sup>a 1</sup> 0,5-1,9 kg/ tonelada DQO <sup>b 2</sup>
Nutrientes	23-42 kg/ tonelada DQO <sup>c 1</sup> 3-5 kg/ tonelada DQO <sup>c 2</sup>
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	9,5 <sup>d 1</sup> 0,7-4.0 <sup>2</sup> 0,1 kWh por equivalente de población <sup>3</sup>
<sup>a</sup> floculante: ferrosulfato <sup>b</sup> sólo la parte de tratamiento de agua residual <sup>c</sup> ácido o-fosfórico <sup>d</sup> incluyendo incineración de lodo <sup>1</sup> [cww/tm/96] <sup>2</sup> [cww/tm/105] <sup>3</sup> [cww/tm/128]	

La cantidad de producción de lodo durante el tratamiento central no es fácil de cuantificar en relación a la carga de contaminantes. Cubre una amplia gama entre 34 y 2000 kg de sólido seco por tonelada de DQO eliminada, con un promedio del orden de 250-720 kg de sólido seco por tonelada de DQO eliminada [cww/tm/105].

### Monitorización

La monitorización de una planta biológica de tratamiento de aguas residuales se ilustra en el Anexo 7.3

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión por m <sup>3</sup>		
Costes operativos por m <sup>3</sup>		

Los costes de inversión y operativos dependen fuertemente de las instalaciones que circundan la planta biológica.

#### 3.3.4.4. Control del agua de lluvia y contra incendios

Un punto esencial de las actividades industriales es la prevención de efluentes incontrolados del complejo. A este fin, el sistema de desagüe de un complejo industrial puede dividirse en una parte de superficies de producción, como por ejemplo:

- Superficies de la planta de producción sin tejado
- Zonas de tanques de almacenaje
- Tejados expuestos a la caída de efluentes,

y una parte de superficies de tráfico normal, como:

- Calzadas interiores del complejo
- Zona de administración
- Superficies con tejado sin contaminar
- Zonas de aparcamiento.

Las aguas de lluvia de zonas de producción y agua contra incendios se recogen en sumideros in situ o en otras instalaciones centrales para permitir su inspección, y luego se toma la decisión de si hay que descargarlas directamente en las aguas receptoras o en una instalación de tratamiento de residuos. Debe tenerse cuidado en evitar que la recogida de agua contra incendios pueda facilitar la propagación de un incendio.

El sistema de desagüe de las zonas de tráfico normal está conectado, si procede, a instalaciones adicionales de descarga previstas, por ejemplo, para:

- Proteger el río receptor contra la carga hidráulica de precipitaciones fuertes de zonas pavimentadas extensas.
- Eliminar el enjuague de los contaminantes caídos acumulados durante periodos secos.
- Evitar la descarga accidental de vertidos accidentales en calzadas o zonas de aparcamiento.

Estas instalaciones suelen incluir un compartimento de primer enjuague y retención de agua de lluvia, para absorber el efluente que se produce a consecuencia de la primera lluvia tras un periodo relativamente seco, y compartimentos adicionales para lluvias subsiguientes.

### 3.3.4.4.1. Estanques de retención

#### Descripción

Un estanque de retención retiene un cantidad permanente de agua dentro de una zona designada, y se basa en procesos físicos, biológicos y químicos para eliminar contaminantes de la escorrentía de agua de lluvia. Además, sirve para controlar el caudal de agua de lluvia para evitar un exceso de carga en el río receptor. Cuando el estanque está lleno, el agua de lluvia entrante desplaza al contenido existente. El tamaño del estanque depende del tiempo de residencia hidráulica necesario. Según el tipo de contaminantes y el tiempo de residencia hidráulica, puede producirse eutrofización. Ocasionalmente es necesario retirar el sedimento.

El agua del estanque se descarga a través de una salida que consiste en un tubo vertical ascendente conectado a un cuerpo cilíndrico que transporta el caudal de agua de lluvia por debajo del banco de contención hasta un medio receptor. La salida está diseñada para dejar pasar el exceso de agua al tiempo que mantiene un volumen permanente. Los tubos ascendentes suelen colocarse en el banco o en el borde del mismo, y suelen taparse con una rejilla para retener la suciedad y evitar atascos.

Para evitar la contaminación difusa por escorrentía superficial o vertido accidental, los estanques de retención están equipados con instalaciones de separación / intercepción de aceite.

#### Aplicación

Un estanque de retención se utiliza para evitar la sobrecarga hidráulica de las instalaciones corriente abajo y para separar los contaminantes sólidos del agua de lluvia. Entre estos contaminantes se incluyen sedimentos, materia orgánica y, en determinadas circunstancias, compuestos metálicos y nutrientes disueltos. Puede aplicarse a complejos industriales con superficies ligeramente contaminadas.

No hay límites y restricciones de aplicación.

#### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Para descargas en medios receptores débiles, los estanques de retención reducen el potencial de inundación corriente abajo y erosión del lecho fluvial.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los sistemas de primer enjuague no disponen de contención de vertidos, por lo que se requiere espacio para volúmenes suficientes.</li></ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

La eliminación de contaminantes alcanzable depende de condiciones especiales, como los tiempos de residencia hidráulica (TRH) y el tipo de contaminante. Así, dentro del estanque puede producirse un cierto grado de sedimentación y degradación biológica.

### Efectos sobre otros medios

Normalmente, el lodo sedimentado debe desecharse. Las sustancias fácilmente biodegradables recogidas en el estanque de retención pueden causar emisiones de olores.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

### Monitorización

Un mantenimiento adecuado asegura un buen funcionamiento continuado del estanque de retención. Esto incluye [cww/tm/77]:

- Limpieza de suciedad y restos.
- Realización de inspecciones rutinarias en el banco y canal de descarga para comprobar su integridad estructural y observar si hay indicios de erosión o de madrigueras de animales.
- Realización de reparaciones periódicas en el banco, canal de descarga de emergencia, entrada y salida.
- Retirada de sedimentos y algas.
- Retirada de vegetación o árboles del banco que pudieran debilitarlo.
- Mantenimiento de la zona de desembocadura.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		Costes de mano de obra 3 h/mes

#### 3.3.4.4.2. Filtros de arena

### Descripción

Una aplicación especial de los filtros de arena es su función para tratar la escorrentía de agua de lluvia y eliminar los contaminantes no disueltos, como sólidos en suspensión, fosfatos sin disolver y DBO sólida. Son un instrumento muy eficaz para eliminar contaminantes del agua de lluvia al tiempo que se mantienen flexibles en su aplicación para permitir modificaciones en la estructura básica de diseño para dar cabida a criterios específicos de un determinado complejo. Periódicamente, el filtro es lavado a contracorriente para eliminar su carga de contaminantes.

Los filtros de arena para el tratamiento de agua de lluvia suelen constar de dos componentes:

- Una cámara de sedimentación, para eliminar los elementos flotables o sedimentos pesados.
- Una cámara de filtración, para eliminar contaminantes adicionales.

Son ejemplos:

- La balsa con filtro de arena superficial.
- El filtro de arena de bóveda subterránea.
- El filtro de arena de doble zanja.
- El filtro de arena de zanja con almacén de roca
- El filtro de arena de turba.

**Aplicación**

El filtro de arena se suele aplicar cuando no hay espacio suficiente para incorporar un estanque de retención en un complejo industrial. Se utiliza para tratar el agua de lluvia de superficies ligeramente contaminadas.

No hay límites y restricciones de aplicación.

**Ventajas y desventajas**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite conseguir elevadas eficacias de eliminación.</li> <li>• Escaso requisito de espacio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las sustancias disueltas en el agua no se eliminan, excepto si se aplica adsorción.</li> </ul>

**Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables**

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Comentarios
SST	80–83 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/77]		

**Efectos sobre otros medios**

El lodo de lavado a contracorriente debe ser desechado como residuo.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	

**Monitorización**

La eficacia de los filtros de arena puede mantenerse mediante inspecciones frecuentes y sustitución regular del medio de filtrado. La suciedad y restos acumulados deben retirarse del filtro de arena cuando sea necesario.

**Economía**

Los costes de inversión dependen del filtro de arena escogido y varían ampliamente.

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión		
Costes operativos		

### 3.4. Técnicas de tratamiento de lodos

La mayoría de procesos de tratamiento de aguas residuales producen lodo, aunque su cantidad, consistencia y contenido dependen del contenido del agua residual y de la técnica de tratamiento. Normalmente es un líquido o líquido semisólido con un contenido de sólidos de 0,25-12 % en peso [cww/tm/4], y contiene principalmente los contaminantes eliminados del agua residual. El exceso de lodo activado de una EDAR biológica consiste principalmente en productos de degradación (mineralización) y tejido bacteriano, así como contaminantes anexos, como metales pesados.

El lodo sin tratar no es adecuado para descarga o desecho, ya que:

- Su contenido de contaminantes nocivos para la atmósfera impide su deposición.
- Su contenido de contaminantes nocivos para el agua impide su descarga a un río receptor.
- La gran cantidad de agua que contiene hace que la incineración sea una opción poco atractiva por la energía que requiere.

En general, el lodo originado por las aguas residuales de la industria química no es adecuado para aplicaciones agrícolas, aunque esto depende de la legislación del Estado Miembro. Un aspecto crítico es el contenido de metales pesados, AOX/EOX y otros componentes persistentes del lodo.

Las operaciones de tratamiento para lodos de EDAR son:

- Operaciones preliminares (no descritas en este documento), como:
  - o Trituración
  - o Fusión o mezcla
  - o Almacenaje
  - o Desarenado
- Operaciones de espesamiento de lodo (ver Sección 3.4.1), como:
  - o Espesamiento por gravedad
  - o Espesamiento centrífugo
  - o Espesamiento por flotación (DAF)
  - o Espesamiento con cinta por gravedad
  - o Espesamiento en tambor rotatorio
- Estabilización del lodo (ver Sección 13.13.5.2), como
  - o Estabilización química (cal)
  - o Estabilización térmica
  - o Digestión anaerobia
  - o Digestión aerobia
  - o Estabilización de lodo doble
- Acondicionamiento del lodo (ver Sección 13.13.5.2), como:
  - o Acondicionamiento químico
  - o Acondicionamiento térmico
- Técnicas de deshidratación de lodo (ver Sección 13.13.5.1), como:
  - o Deshidratación centrífuga
  - o Filtros de prensa
- Operaciones de secado (ver Sección 13.13.5.3), como
  - o Secado rotatorio
  - o Secado por rociado
  - o Secado por incandescencia
  - o Evaporación
  - o Secado con soleras múltiples.
- Oxidación térmica del lodo (ver Sección 13.13.5.3), mediante técnicas como:
  - o Incineración en lecho fluidizado.
  - o Oxidación con aire húmedo.
  - o Oxidación en reactor de cuerpo profundo
  - o Incineración con otros residuos (ej. sólidos).
- Desecho del lodo en vertedero in situ (no descrito en este documento).

Las operaciones de tratamiento y vías de desecho pueden considerarse como opciones individuales o como una combinación de opciones individuales. La lista sigue básicamente el orden del grado de reducción y no pretende ser un ranking. Hay que señalar que la disponibilidad (o no disponibilidad) de una vía de desecho puede ser un fuerte impulso, al menos a nivel local, para la elección de la técnica de tratamiento de aguas residuales.

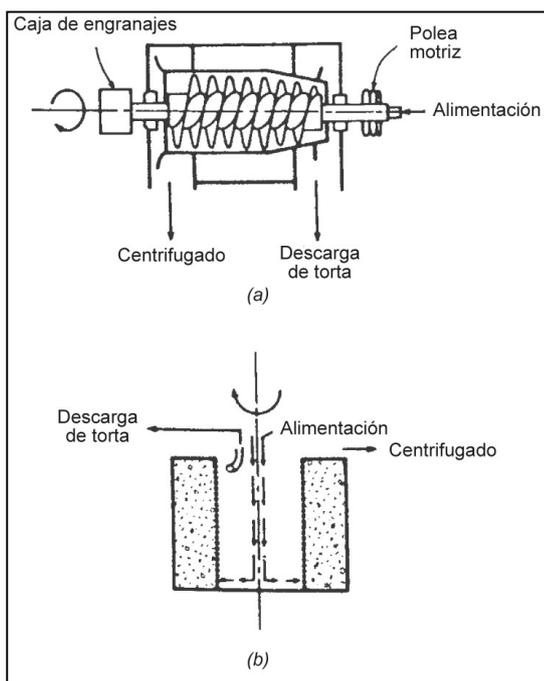
### 3.4.1. Espesamiento y deshidratación de lodo

#### Descripción

El espesamiento y la deshidratación de lodo son operaciones para aumentar el contenido sólido del lodo y eliminar una parte de la fracción de agua. Su ventaja es una reducción en muchas veces (unas cinco o más veces) del volumen, para facilitar las operaciones de tratamiento subsiguientes, así como para reducir el tamaño y la capacidad necesarios del equipo de tratamiento. Ambos tratamientos se diferencian sólo en el grado de eliminación de agua.

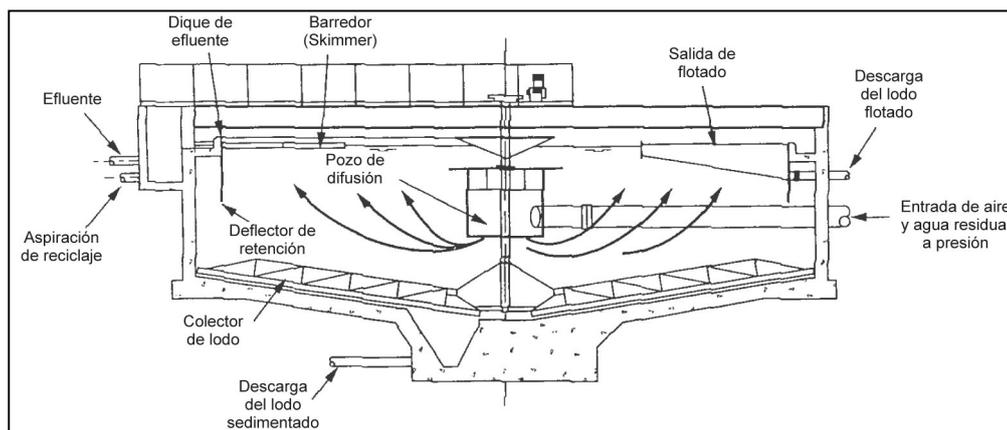
Las técnicas comunes son:

- Espesamiento por gravedad, o sedimentación, mediante un tanque de sedimentación.
- Espesamiento centrífugo (también como técnica de deshidratación), ideal para una alta captura de sólidos, con una centrífuga de vaso sólido o una centrífuga de cesta perforada, ilustradas en la Figura 3.39.



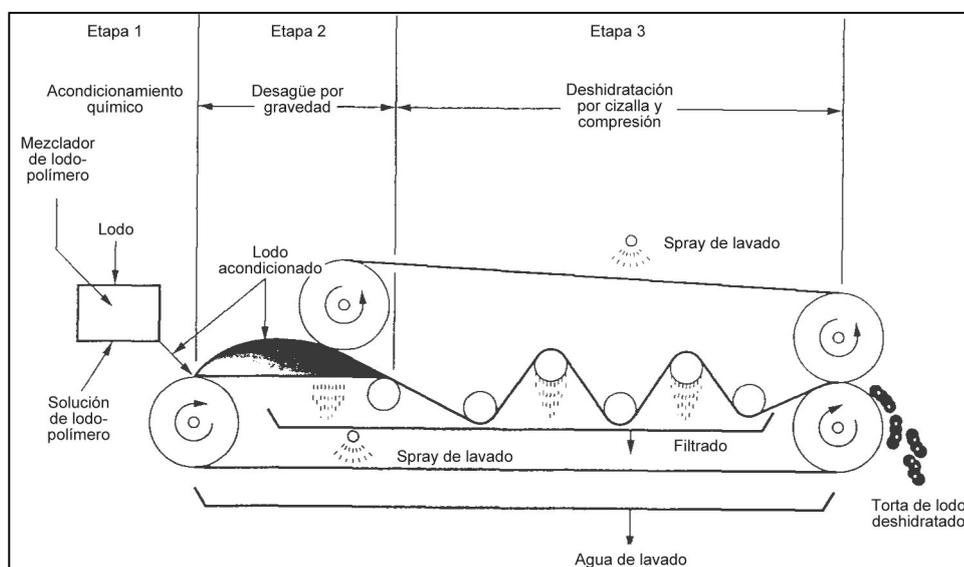
**Figura 3.39.**  
**Espesador de lodo centrífugo**  
**(a) Centrífuga de vaso sólido,**  
**(b) Centrífuga de cesta perforada**

- Espesamiento por flotación, con equipo de DAF como se ilustra en la Figura 3.40.
- Espesamiento con cinta por gravedad, usando una cinta por gravedad que se mueve sobre rodillos motorizados, en la que el lodo acondicionado se agrega por un extremo a través de una caja de alimentación / distribución, removiéndose el lodo mediante una serie de palas, lo que permite que el agua liberada caiga a través de la cinta.
- Espesamiento en tambor rotatorio, con una unidad consistente en un sistema de acondicionamiento de lodo con alimentación de polímero y tamices cilíndricos giratorios en los que el polímero y el lodo diluido se mezclan para que floquen, siendo separados luego del agua en los tambores de tamices giratorios.



**Figura 3.40. Espesador mediante flotación por aire disuelto (DAF) para residuos de lodo activado**

- Deshidratación en filtro de prensa con cinta, en el que el lodo acondicionado se introduce en una sección de desagüe por gravedad y se separa del agua por efecto de la gravedad, esta operación es asistida por vacío, lo que mejora el desagüe y reduce el olor; luego se aplica presión en un sector de baja presión, en la que el lodo se prensa entre cintas porosas opuestas para liberar más agua (ver Figura 3.41)



**Figura 3.41. Filtro de prensa con cinta**

- Deshidratación en filtro de prensa, en la que la separación sólido / líquido tiene lugar a alta presión (0,7-1,5 MPa) [cww/tm/4], y el lodo se fuerza a través de un serie de telas filtrantes para retener las partículas en forma de torta de filtro, reciclándose el filtrado a la planta de tratamiento de aguas residuales (ver Figura 3.42).

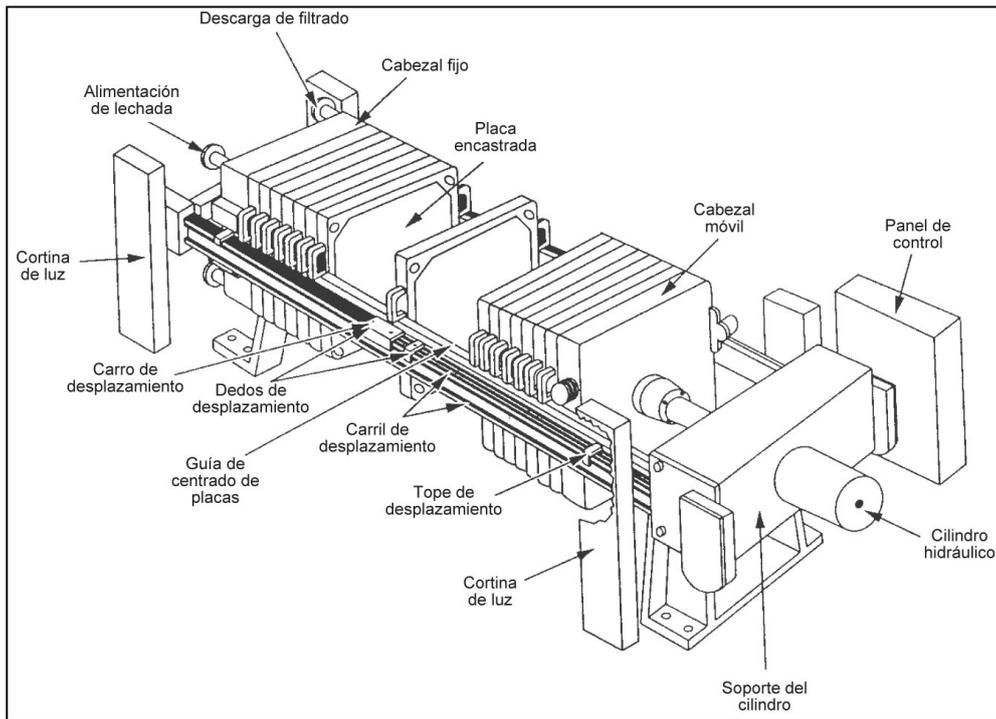


Figura 3.42. Filtro de prensa de placas encastradas y volumen fijo

**Aplicación**

Las distintas técnicas y su aplicación a las propiedades del lodo son:

Gravedad	Centrífuga	DAF	Cinta por gravedad	Tambor rotatorio
Lodo primario sin tratar	Lodo activado residual, se requiere adición de floculante y polímeros	Lodo activado residual	Lodo activado residual, especialmente con concentración de sólidos < 2 %	Lodo activado residual
Lodo activado residual		Mezcla de lodo primario sin tratar y de lodo activado residual, se requiere adición de floculante y polímeros		
Mezcla de lodo primario sin tratar y de lodo activado residual				

Filtro de prensa con cinta	Filtro de prensa
Todos los tipos de lodo, se requiere adición de floculantes y polímeros	Todos los tipos de lodo, se requiere adición de floculantes y polímeros
	Se utiliza cuando se requiere un bajo contenido de sólidos en suspensión en el filtrado

### Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Espesamiento por gravedad:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelentes resultados con lodo primario sin tratar.</li> <li>• El espesamiento por gravedad ofrece generalmente resultados satisfactorios con plantas pequeñas y concentraciones de lodo entre el 4 y el 6 %.</li> <li>• Bajo consumo de energía.</li> </ul>	<p><u>Espesamiento por gravedad:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo resultados marginales en plantas grandes.</li> <li>• Para lodo activado residual, sólo baja concentración de sólidos.</li> </ul>
<p><u>Espesamiento centrífugo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción eficaz de torta de lodo seco y buena captura de sólidos difíciles de filtrar.</li> <li>• Requisitos de espacio relativamente bajos en comparación con otros sistemas de deshidratación.</li> <li>• Fácil instalación.</li> <li>• Mínimos problemas de olor.</li> </ul>	<p><u>Espesamiento centrífugo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo de energía por unidad de lodo deshidratado.</li> <li>• Produce la menor concentración de sólidos en torta de los sistemas de deshidratación.</li> <li>• Genera vibraciones y ruido.</li> <li>• Requiere personal de mantenimiento especializado.</li> </ul>
<p><u>Espesamiento por DAF:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena eficacia para lodo residual de procesos de tratamiento biológico.</li> </ul>	<p><u>Espesamiento por DAF:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerable a heladas (bloqueo de los surtidores de aire).</li> <li>• Emisión de sustancias olorosas (efecto de desorción).</li> </ul>
<p><u>Espesamiento en cinta por gravedad:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buenos resultados para lodo crudo y digerido.</li> </ul>	
<p><u>Espesamiento en tambor rotatorio:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos requisitos de mantenimiento, energía y espacio.</li> </ul>	
<p><u>Filtros de prensa con cinta:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficacia de deshidratación.</li> <li>• Fácil mantenimiento.</li> </ul>	<p><u>Filtros de prensa con cinta:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones hidráulicas.</li> <li>• Muy sensible a las características de alimentación del lodo entrante.</li> <li>• Vida corta de los medios en comparación con otros dispositivos de deshidratación.</li> </ul>
<p><u>Filtros de prensa:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficacia de deshidratación y baja concentración de sólidos en suspensión en el filtrado.</li> </ul>	<p><u>Filtros de prensa:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operación discontinua.</li> <li>• Requisitos especiales para estructura de soporte, zona del suelo, capacitación del personal.</li> <li>• Vida limitada de las telas de los filtros.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Técnica	Concentración del lodo [%]	Captura de sólidos [%]	Comentarios
Espesamiento por gravedad	2–10 <sup>1,2</sup>	80–92 <sup>1</sup>	Depende de la calidad del lodo
Espesamiento centrífugo	3–8 <sup>1</sup>	80–98 <sup>1</sup>	
Deshidratación centrífuga	10–35 <sup>1,2</sup>	85–98 <sup>1</sup>	Con agentes químicos
Espesamiento por DAF	2–10 <sup>2</sup>	80–98 <sup>1</sup>	
Espesamiento en cinta por gravedad	4–6 <sup>2</sup>		
Espesamiento en tambor rotatorio	3–4 <sup>1</sup>		
	15–30 <sup>1,2</sup>	90–98 <sup>1</sup>	Con vacío
Deshidratación en filtro de prensa con cinta	15–30 <sup>1,2</sup>	85–98 <sup>1</sup>	Con agentes químicos
Deshidratación en filtro de prensa	20–50 <sup>1</sup>	90–98 <sup>1</sup>	Con agentes químicos

<sup>1</sup> [cww/tm/4]

<sup>2</sup> [cww/tm/128]

### Efectos sobre otros medios

El espesamiento y la deshidratación de lodos son tratamientos previos para que el lodo pueda manipularse más fácilmente para tratamiento ulterior, es decir, el lodo resultante tras espesamiento y deshidratación necesita tratamiento final o se desecha en vertederos técnicos. El efluente acuoso (sobrenadante, filtrado) se recircula a la EDAR.

El ruido y el olor son controlados cerrando o aislando el equipo.

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Agentes químicos de acondicionamiento	Polímero 0-4 kg/tonelada de sólido seco <sup>1</sup>	Centrífuga de vaso sólido
	Polímero 1-3 kg/ tonelada de sólido seco <sup>1</sup>	Centrífuga de cesta
	Polímero 2-5 kg/ tonelada de sólido seco <sup>1</sup>	DAF
	Polímero 3-7 kg/ tonelada de sólido seco <sup>1</sup>	Cinta por gravedad
Agua de lavado		Para lavado a contracorriente del filtro
Energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	2-6	Centrífuga de vaso sólido
	2-3	Filtro de prensa con cinta
	4-5	Filtro de prensa
<sup>1</sup> [cww/tm/4]		

### Monitorización

Para evitar perturbaciones, el proceso de espesamiento debe supervisarse al menos visualmente. Es necesario monitorizar frecuentemente la entrada de lodo y sus consistencia, así como efectuar mediciones de turbidez de la descarga de agua. Debe detectarse la aparición de lodo abultado para evitar su emisión

Cuando se utilice equipo sensible como telas de filtros, deberá controlarse la entrada para evitar la introducción de sólidos abultados o que puedan ser críticos.

### Economía

Técnica	Costes	
	Inversión	Operativos
Espesamiento por gravedad	15 millones BEF <sup>a 1</sup>	8400 BEF/m <sup>3</sup> <sup>a 1</sup>
Espesamiento centrífugo		6-8000 BEF/tonelada de sólido seco <sup>1</sup>
Espesamiento por DAF	40 millones BEF <sup>a 1</sup> 4 millones BEF <sup>b 1</sup>	
Espesamiento en cinta por gravedad		
Espesamiento en tambor rotatorio		6-8000 BEF/tonelada de sólido seco <sup>1</sup>
Espesamiento en filtro de prensa con cinta		6-8000 BEF/tonelada de sólido seco <sup>1</sup>
Espesamiento en filtro de prensa		7-10000 BEF/tonelada de sólido seco <sup>1</sup>
<sup>a</sup> capacidad 100 m <sup>3</sup> /h		
<sup>b</sup> capacidad 100 m <sup>3</sup> /d		
<sup>1</sup> [cww/tm/128]		

### 3.4.2. Estabilización y acondicionamiento

#### Descripción

La **estabilización** del lodo cloacal es una operación de tratamiento para [cww/tm/132]:

- Reducir o eliminar la cantidad de constituyentes olorosos.
- Reducir la cantidad de sólidos biodegradables en el lodo.
- Mejorar la deshidratación.
- Reducir los patógenos.
- Reducir o eliminar el potencial de putrefacción.

Las técnicas de estabilización son [cww/tm/132]:

- Estabilización química, utilizando principalmente cal, bien como pretratamiento, antes de la deshidratación, bien como postratamiento, después de la deshidratación, para elevar el pH a  $>12$  y por tanto destruir patógenos.
- Estabilización térmica, calentando el lodo en un recipiente a presión a temperaturas de hasta  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$  y presiones de hasta  $2,8\text{ MPa}$  durante unos 30 minutos, utilizada también como técnica de acondicionamiento.
- Digestión aerobia, trabajando en un tanque – similar al proceso de lodo activado aerobio para el tratamiento de agua residual – con aire u oxígeno puro y agitación adecuada, que produce una reducción del 75-80 % del contenido de lodo activado [cww/tm/4]; la técnica es una opción atractiva cuando se considera la digestión separada de lodo.
- Digestión anaerobia, trabajando en un tanque con exclusión de aire en el rango mesofílico ( $30\text{--}38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) o termofílico ( $49\text{--}57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y produciendo una mezcla de gas combustible (65–70 % metano, 25–30 % dióxido de carbono, pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, etc.) de un bajo valor calorífico de unos  $22\text{ MJ/Nm}^3$ .
- Doble estabilización del lodo, combinando una digestión termofílica aerobia corriente arriba y una digestión mesofílica anaerobia corriente abajo.

La finalidad del **acondicionamiento** de lodo es mejorar las condiciones de espesamiento y/o deshidratación. Las técnicas de acondicionamiento son:

- Acondicionamiento químico, utilizando cloruro férrico, cal, alumbre y polímeros orgánicos (coagulantes y floculantes).
- Acondicionamiento térmico, calentando el lodo en un recipiente a presión a temperaturas de  $60\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$  (acondicionamiento térmico de bajo nivel) o  $180\text{--}230\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $1\text{--}2,5\text{ MPa}$  (acondicionamiento térmico de alto nivel).

#### Aplicación

La estabilización y el acondicionamiento se aplican a lodos con contenido orgánico que vayan a ser espesados y/o deshidratados. La idoneidad de las diversas técnicas depende de las condiciones específicas en un complejo, por ejemplo:

- Espacio disponible para los tanques de digestión.
- Disponibilidad de energía, un aspecto importante para las técnicas térmicas.
- La cantidad de lodo generado.
- Algunas técnicas son viables sólo para plantas grandes.

Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Estabilización y acondicionamiento químico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Técnica estándar con elevados requisitos tecnológicos.</li> <li>Método eficaz para mejorar la filtración (acondicionamiento) corriente abajo y para eliminar sustancias olorosas y patógenos (estabilización).</li> </ul>	<p><u>Estabilización y acondicionamiento químico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento considerable de los sólidos (excepto acondicionamiento con polímeros).</li> </ul>
<p><u>Estabilización y acondicionamiento térmico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Requisitos de espacio reducidos.</li> <li>Tratamiento eficaz sin uso de agentes químicos adicionales, permitiendo que el lodo pueda ser deshidratado y las bacterias destruidas.</li> <li>Aplicable especialmente a lodos biológicos que puedan ser difíciles de estabilizar o acondicionar por otros medios.</li> </ul>	<p><u>Estabilización y acondicionamiento térmico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Altos costes de inversión en comparación con otras técnicas.</li> <li>Elevados requisitos de energía.</li> <li>La emisión de sustancias olorosas es un aspecto importante.</li> </ul>
<p><u>Digestión aerobia:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de sólidos volátiles comparativamente alta.</li> <li>Producción de un producto inodoro, tipo humus, biológicamente estable.</li> <li>Operación relativamente fácil.</li> <li>Menor coste de inversión que en la digestión anaerobia.</li> </ul>	<p><u>Digestión aerobia:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alto consumo de energía para agitación y suministro de aire u oxígeno.</li> <li>Producción de lodo digerido con malas características de deshidratación mecánica.</li> <li>Proceso afectado significativamente por la temperatura, la ubicación y el material del tanque.</li> </ul>
<p><u>Digestión anaerobia:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El gas desprendido puede usarse, previo tratamiento, por ejemplo con lavadores secos o húmedos, como combustible para procesos de combustión</li> <li>Uso eficaz sin utilizar agentes químicos adicionales.</li> <li>Debido al largo tiempo de residencia, mineralización eficaz del lodo.</li> </ul>	<p><u>Digestión anaerobia:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los grandes requisitos de espacio son un aspecto a tener en cuenta para complejos pequeños.</li> </ul>

Efectos sobre otros medios

La estabilización y acondicionamiento químico producen un considerable aumento del contenido de sólidos a desechar, con la excepción del acondicionamiento con polímeros. Dado que la estabilización con cal no destruye los compuestos orgánicos necesarios para el crecimiento bacteriano, el lodo debe tratarse con un exceso de cal o desecharse antes de que el pH caiga significativamente. Una dosificación excesiva de cal puede ser hasta 1,5 veces la cantidad necesaria para mantener el pH inicial de 12 [cww/tm/4].

La cantidad necesaria de cal para la estabilización de lodo se detalla en la Tabla 3.12 [cww/tm/4], y la cantidad de polímero para la estabilización de lodo en la Tabla 3.13 [cww/tm/4].

**Tabla 3.12.**  
**Dosis de cal típicas para estabilizar lodo líquido**

Lodo	Concentración de sólidos [%]	Dosificación de cal <sup>a</sup> [kg cal/kg sólido seco]
Lodo primario	3–6	120–340
Lodo activado residual	1–5	420–860
Lodo mixto de digestión aerobia	6–7	280–500
Lodo séptico	1–4,5	180–1020

<sup>a</sup> cantidad de cal requerida para mantener un pH de 12 durante 30 minutos.

**Tabla.3.13.**  
**Niveles típicos de adición de polímeros para distintos tipos de lodo y diversos métodos de deshidratación**

Lodo	kg polímero seco/tonelada sólidos secos		
	Filtro de tambor rotatorio al vacío	Filtro de prensa con correa	Centrífuga de vaso sólido
Lodo primario	1-5	1-4	0,5-2,5
Lodo primario y lodo activado residual	5-10	2-8	2-5
Lodo primario y de filtro de goteo	1,3-2,5	2-8	-
Lodo activado residual	7,5-15	4-10	5-8
Lodo primario de digestión anaerobia	3,5-7	2-5	3-5
Lodo primario de digestión anaerobia y lodo activado residual con aire	1,5-8,5	1,5-8,5	2-5
Lodo primario de digestión aerobia y lodo activado residual con aire	7,5-10	2-8	-

El principal aspecto para la digestión de lodo aerobia es su requisito de aire u oxígeno, que es de unos 2,3 kg O<sub>2</sub> por kg de sólido degradado.

La digestión anaerobia produce un gas combustible que puede usarse como combustible pero, debido al contenido de partículas y sulfuro de hidrógeno, debe limpiarse antes de su uso. Las técnicas apropiadas para el tratamiento del gas residual son el lavado seco o húmedo. En plantas grandes, puede usarse como combustible para calderas y motores de combustión interna.

La estabilización y acondicionamiento térmico es un proceso con un uso intensivo de energía, cuyas ventajas deben evaluarse en las circunstancias particulares de aplicación. Durante su uso, se generan o emiten sustancias olorosas que deben ser debidamente eliminadas.

### Economía

Técnica	Costes	
	Inversión	Operativos
Estabilización térmica		
Estabilización / acondicionamiento térmico		
Digestión anaerobia		
Acondicionamiento químico		

### 3.4.3. Reducción térmica de lodo

#### Descripción

La reducción térmica de lodo se divide en dos tipos de aplicación:

- Secado por calor, que reduce el contenido de agua por la vaporización del agua.
- Oxidación del lodo seco, mineralizando su contenido orgánico.

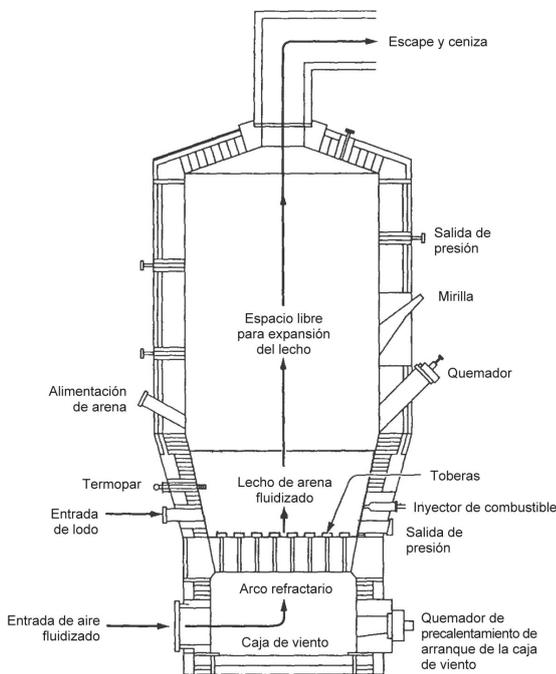
Las instalaciones de secado utilizadas normalmente son:

- Secadores rotatorios
- Secadores por rociado
- Secadores por incandescencia
- Evaporadores
- Secadores de solera múltiple.

La oxidación subsiguiente del lodo seco convierte el contenido sólido orgánico en productos finales oxidados, principalmente dióxido de carbono y agua evacuados como gas, y deja un volumen reducido de sólido principalmente inorgánico. Los lodos procesados por reducción térmica son normalmente lodos deshidratados y sin tratar, es decir, no estabilizados. Los procesos de estabilización, como la digestión anaerobia, reducen el contenido volátil del lodo y en consecuencia aumentan el requisito de un combustible auxiliar. Una excepción es la estabilización térmica antes de la incineración. Los lodos tratados térmicamente se deshidratan muy bien, y el lodo se hace autocombustible [cww/tm/4].

Las técnicas usadas comúnmente para la oxidación térmica (o incineración) de lodo son:

- Incineración en lecho fluidizado (ver Figura 3.43), utilizada para incineración de lodo, consistente en un cuerpo de acero de forma cilíndrica que contiene un lecho de arena y orificios para aire de fluidización; el lecho es fluidizado por aire a una presión de 20–35 kPa, y la temperatura del lecho de arena está controlada entre 760 y 820 °C [cww/tm/4]; si el proceso opera continuamente o con paradas de corta duración, no hay necesidad de combustible auxiliar tras el arranque [cww/tm/4]. Esta técnica se espera que sea tratada en el BREF sobre incineración de residuos, que todavía debe escribirse.



- Oxidación por aire húmedo, sistema ya descrito en la Sección 3.3.4.2.4, utilizado para lodo sin tratar, rango de temperatura de 175–315 °C y presiones hasta 20 MPa; del reactor salen gases, líquido y cenizas; los gases pueden expansionarse para recuperar energía.
- Oxidación en reactor profundo (ver Figura 3.44), en la que se descarga lodo líquido en el entorno con presión y temperatura controlada de un reactor de cuerpo tubular suspendido en un pozo profundo, con inyección de oxígeno o aire en la corriente de lodo residual, con una temperatura de unos 290 °C, rango de presión en el fondo de 10–14 MPa (presión hidrostática); se trata de una aplicación especial de la oxidación con aire húmedo.

Figura 3.43. Incinerador de lecho fluidizado [cww/tm/4]

- Incineración con otros residuos, reduciendo los costes al utilizar la misma instalación y aprovechar el calor producido por la incineración de residuos para la evaporación del contenido de agua del lodo. Este aspecto deberá abordarse en el BREF sobre incineración de residuos.

Todas las técnicas requieren tratamiento ulterior de los gases y líquidos producidos.

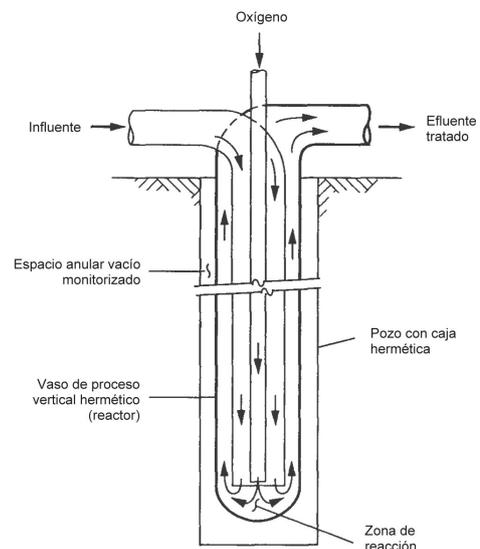


Figura 3.44. Oxidación en reactor profundo [cww/tm/4]

## Aplicación

La reducción térmica de lodo no es necesariamente una tecnología a realizar en un complejo de producción química. Normalmente, sólo los complejos grandes realizan tratamiento de lodos a este nivel, los demás subcontratan el desecho externo de sus lodos. Los motivos son que se requiere personal especializado, que los costes de inversión y de mantenimiento son considerables, y que los beneficios del calor generado normalmente sólo son relevantes en plantas grandes que ya disponen de equipos para su aprovechamiento.

La incineración con otros residuos, por ejemplo, es una opción para complejos en los que ya se realiza incineración de residuos – siempre que el incinerador está adecuadamente equipado – o en los que esté prevista la construcción de un incinerador.

## Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Incineración:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción eficaz del contenido orgánico del lodo.</li> </ul>	<p><u>Incineración:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso complejo que requiere personal capacitado.</li> <li>• Es común la adición de combustible auxiliar.</li> <li>• Emisiones gaseosas y olores.</li> </ul>
<p><u>Incineración con otros residuos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El calor para la evaporación del agua y la incineración del lodo es aportado por la incineración de residuos sólidos, no se requiere combustible auxiliar.</li> </ul>	<p><u>Incineración con otros residuos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede producir altas emisiones de PCDD/PCDF y metales pesados, cuando las condiciones de combustión y el sistema de limpieza de los gases de combustión no están adaptados a la mezcla (ej. medidas primarias para la reducción de dioxinas, medidas secundarias para la reducción de dioxinas y metales pesados).</li> </ul>
<p><u>Oxidación con aire húmedo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso puede diseñarse para ser autosuficiente desde el punto de vista térmico, en ocasiones se dispone de recuperación de energía.</li> </ul>	<p><u>Oxidación con aire húmedo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de licor reciclado de alta concentración.</li> <li>• Proceso complejo que requiere personal capacitado.</li> </ul>
<p><u>Reactor profundo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de espacio reducidos.</li> <li>• Alta eficacia de eliminación de sólidos en suspensión y materia orgánica.</li> <li>• Proceso completamente exotérmico.</li> <li>• Poco olor o emisiones atmosféricas objetables.</li> </ul>	<p><u>Reactor profundo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere personal capacitado para el control del proceso.</li> </ul>

## Efectos sobre otros medios

Los principales aspectos medioambientales suscitados por la reducción térmica de lodo son las emisiones gaseosas y líquidas generadas durante el proceso.

Las emisiones gaseosas de los incineradores de lecho fluidizado consisten en partículas (cenizas), óxidos de nitrógeno, gases ácidos, hidrocarburos y metales pesados, según el contenido del lodo y el combustible auxiliar. Para eliminar los contaminantes atmosféricos se utilizan técnicas de lavado húmedo (detalles en la Sección 3.5.1.4). Las emisiones acuosas del lavado húmedo contienen los sólidos en suspensión y gases residuales disueltos que deben ser sometidos a tratamiento de aguas residuales. Las emisiones a la atmósfera y las emisiones de aguas residuales deben seguir los requisitos de la Directiva sobre Incineración de Residuos 2000/76/EC [cww/tm/155] Anexos II, IV y V.

Con el incinerador de lecho fluidizado, no hay ceniza seca en el fondo del reactor, ya que es arrastrada por los gases de combustión.

En el proceso de oxidación de aire húmedo, del reactor salen líquido y ceniza. El líquido y la ceniza son devueltos a través de intercambiadores de calor para precalentar el lodo entrante, los gases son separados de

las partículas y gotas de líquido en un ciclón y luego son emitidos. En instalaciones grandes, puede ser económico expansionar los gases mediante una turbina para recuperar energía [cww/tm/4]. La fase líquida es separada del contenido sólido y devuelta al tanque de sedimentación o clarificador. El líquido reciclado representa una carga orgánica considerable. Los rangos típicos de DQO son 10–15 g/l.

El proceso de oxidación en reactor profundo requiere la separación subsiguiente de gas-líquido y de sólidos-líquido, así como el postratamiento del sobrenadante. Estos tratamientos reducen el contenido de DQO del lodo en >80 % [cww/tm/4].

El requisito energético de las técnicas de reducción térmica de lodo depende en gran medida del valor calorífico del lodo, es decir, del contenido de agua y del valor calorífico del sólido seco.

### Monitorización

El proceso de incineración (horno) es normalmente operado por un sistema de control de proceso y monitorizado mediante:

- Medición del volumen
- Medición de la temperatura
- Medición de la presión
- Análisis.

Hay mecanismos de regulación que aseguran que la temperatura especificada se mantenga en la zona de incineración y que el gas de combustión obtenga la concentración de oxígeno exacta. Asegurando valores óptimos de tiempo de residencia, exceso de aire y temperatura, puede conseguirse la incineración completa de la ceniza.

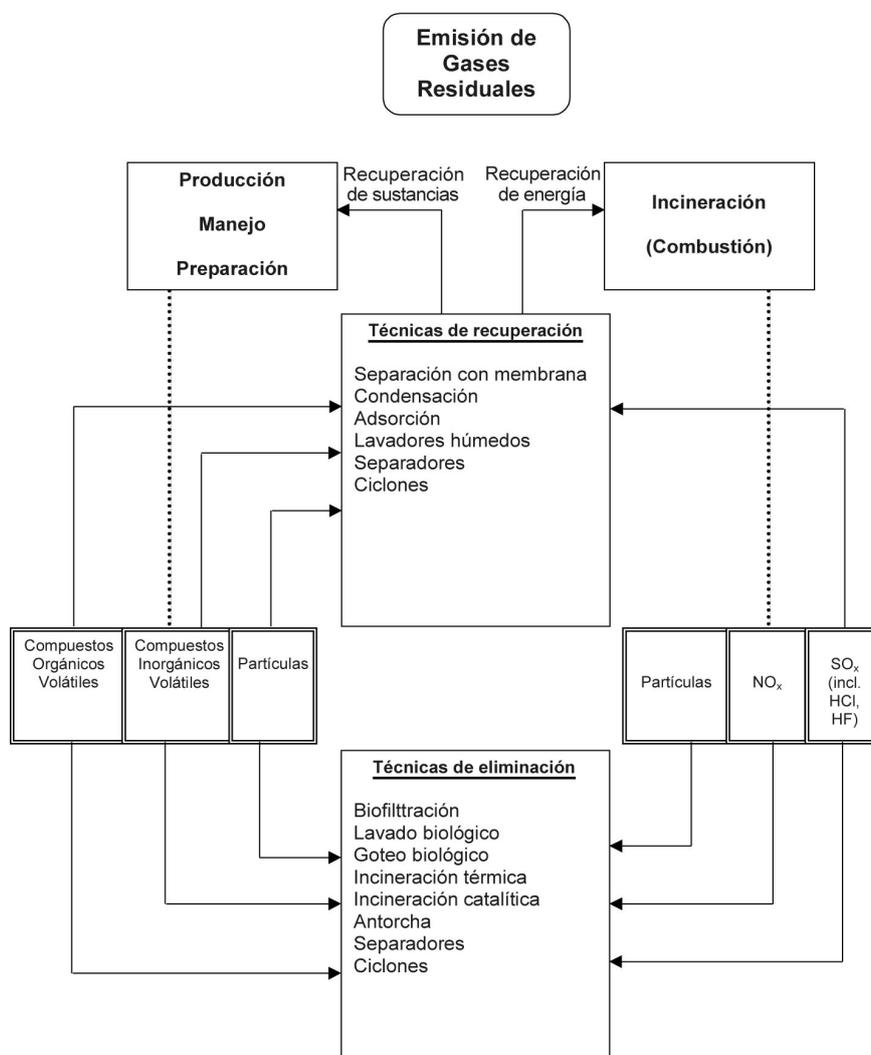
Además, la monitorización debe seguir los Artículos 10 y 11 y el Anexo III de la Directiva 2000/76/CE sobre incineración de residuos [cww/tm/155].

### Economía

Técnica	Costes de inversión	Costes operativos
Incineración en lecho fluidizado		
Oxidación con aire húmedo		
Oxidación en reactor profundo		
Incineración con otros residuos		

### 3.2. Técnicas de tratamiento final de línea de gases residuales

Las técnicas de tratamiento postproducción (final de línea) de gases residuales se describen aquí en un orden similar al utilizado para las técnicas de final de línea para aguas residuales. La relación entre contaminante y tratamiento típico, como se señala en la Sección 1.3.2.2, se ilustra en la Figura 3.45.



**Figura 3.45. Rango de técnicas de tratamiento final de línea de gases residuales en relación al tipo de contaminantes**

Las fuentes de gases residuales a tratar son:

- Procesos a temperatura “normal”, como procesos de producción, manejo o elaboración, con los siguientes contaminantes principales:
  - o Compuestos orgánicos volátiles, como disolventes.
  - o Compuestos inorgánicos, como haluros de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, monóxido de carbono.
  - o Partículas en forma de polvo.
- Procesos de incineración, con los siguientes contaminantes principales:
  - o Partículas en forma de cenizas y polvo, que contienen hollín y óxidos metálicos.
  - o Gases de combustión como monóxido de carbono, haluros de hidrógeno, compuestos de azufre y oxígeno (SO<sub>x</sub>), compuestos de nitrógeno-oxígeno (NO<sub>x</sub>).

Los gases residuales que se forman son tratados por técnicas en las que:

- El contenido de gas residual es recuperado y reciclado al proceso original o utilizado en otro proceso como materia prima o aporte de energía, o
- Los contaminantes son eliminados.

Entre los compuestos cuya recuperación es normalmente viable se incluyen:

- COV, recuperados de vapores de disolventes o vapores de productos de bajo punto de ebullición.
- COV usados como aporte de energía en incineradores o calderas.
- Cloruro de hidrógeno, transferido a ácido clorhídrico.
- Amoníaco para reciclar en el proceso de producción.
- Dióxido de azufre, transferido a ácido sulfúrico, azufre o yeso..
- Polvo que contiene grandes cantidades de materias primas o productos finales sólidos.

Las técnicas de tratamiento – ver Figura 3.45 – se clasifican como:

- Técnicas de recuperación para COV y compuestos inorgánicos:
  - o Separación con membranas (ver Sección 3.5.1.1)
  - o Condensación (ver Sección 3.5.1.2)
  - o Adsorción (ver Sección 3.5.1.3)
  - o Lavado húmedo (ver Sección 3.5.1.4).
- Técnicas de eliminación para COV y compuestos inorgánicos:
  - o Biofiltración (ver Sección 3.5.2.1)
  - o Lavado biológico (ver Sección 3.5.2.2)
  - o Percolación o goteo biológico (ver Sección 3.5.2.3)
  - o Oxidación térmica (ver Sección 3.5.2.4)
  - o Oxidación catalítica (ver Sección 3.5.2.5)
  - o Combustión en antorcha (ver Sección 3.5.2.6).
- Técnicas de recuperación y eliminación para partículas, mediante:
  - o Separador (ver Sección 3.5.3.1)
  - o Ciclón (ver Sección 3.5.3.2)
  - o Precipitador electrostático (ver Sección 3.5.3.3)
  - o Lavador húmedo de polvo (ver Sección 3.5.3.4)
  - o Filtro de manga, incluido filtro cerámico (ver Sección 3.5.3.5)
  - o Filtro catalítico (ver Sección 3.5.3.6)
  - o Filtro de polvo en dos etapas (ver Sección 3.5.3.7)
  - o Filtro absoluto (filtro HEPA) (ver Sección 3.5.3.8)
  - o Filtro de aire de alta eficacia (HEAF) (ver Sección 3.5.3.9)
  - o Filtro de neblina (ver Sección 3.5.3.10).
- Técnicas de recuperación y eliminación para gases de escape de combustión:
  - o Inyección de absorbente seco (ver Sección 3.5.4.1)
  - o Inyección de absorbente semiseco (ver Sección 3.5.4.1)
  - o Inyección de absorbente húmedo (ver Sección 3.5.4.1)
  - o Reducción no catalítica selectiva de NO<sub>x</sub> (RNCS) (ver Sección 3.5.4.2)
  - o Reducción catalítica selectiva de NO<sub>x</sub> (RCS) (ver Sección 3.5.4.2).

La mayoría de las técnicas de tratamiento no pueden clasificarse simplemente como técnicas de recuperación o eliminación, ya que la recuperación de los contaminantes depende de la aplicación de etapas de separación adicionales.

Algunas de las técnicas descritas son operaciones y/o procesos individuales, otras se utilizan sólo como métodos de tratamiento secundario para evitar daños a las instalaciones de tratamiento principal o desempeñan simplemente un papel de prefiltro, o se utilizan como paso de limpieza final. Otras pueden usarse de ambas formas, como tecnología individual o secundaria. En los párrafos siguientes se dan ejemplos.

La mayoría de técnicas de tratamiento de gases residuales requieren tratamiento adicional corriente abajo, para el agua o el gas residual generado durante el proceso, y/o desecho de residuos sólidos. Este aspecto se discutirá en los capítulos relevantes que siguen.

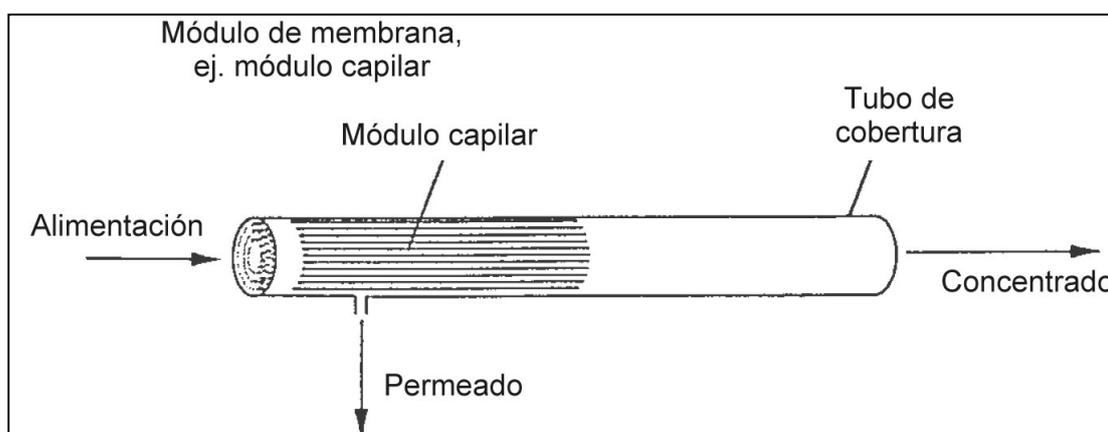
### 3.5.1. Técnicas de recuperación para COV y compuestos inorgánicos

#### 3.5.1.1. Separación con membrana

##### Descripción

La separación con membrana de gases aprovecha la permeabilidad selectiva de los vapores orgánicos al permear a través de una membrana. Los vapores orgánicos tienen una velocidad de permeación considerablemente mayor que oxígeno, nitrógeno, hidrógeno o dióxido de carbono (de 10 a 100 veces mayor [cww/tm/74]). El permeado enriquecido puede recuperarse mediante métodos como condensación (ver Sección 3.5.1.2) o adsorción (ver Sección 3.5.1.3), o puede eliminarse, por ejemplo mediante oxidación catalítica (ver Sección 3.5.2.5). El proceso es especialmente apropiado para elevadas concentraciones de vapor. En la mayoría de casos se requiere tratamiento adicional para alcanzar niveles de concentración bastante bajos para permitir su descarga [cww/tm/80].

Los separadores de membrana se diseñan como módulos, por ejemplo como módulos capilares (ver Figura 3.46) [cww/tm/64], fabricados a base de una capa de polímero.



*Figura 3.46: Típico módulo capilar de membrana*

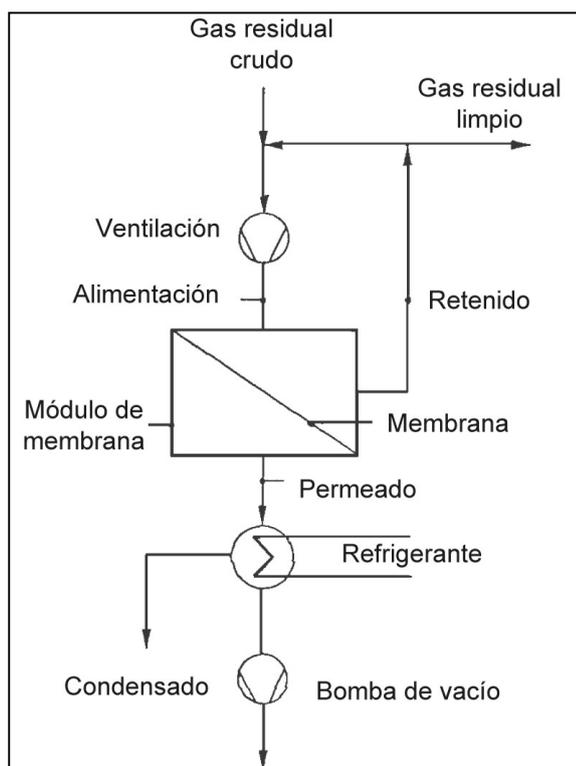
Un sistema de separación por membrana consisten en (ver Figura 3.47):

- Los módulos de membrana
- Un compresor
- Una unidad de recuperación (ej. condensador, adsorbedor)
- Ventilaciones y conducciones
- Posiblemente una segunda etapa para tratamiento ulterior.

Para crear la diferencia de presión necesaria entre los lados de alimentación y permeado de la membrana (0,1–1 MPa), el sistema funciona con un exceso de presión en el lado de alimentación y vacío (unos 0,2 kPa) en el lado del permeado, o ambos [cww/tm/64].

Durante el aumento de la concentración de vapor dentro de la unidad de membrana, el nivel de concentración puede aumentar a un límite superior al explosivo y producir una mezcla explosiva. La seguridad es por lo tanto un aspecto crucial y deben tomarse medidas para evitar estas situaciones o para poder controlar el riesgo.

Un ejemplo de un proceso de separación con membrana como unidad de recuperación de vapores (URV) se ilustra en la Figura 3.48. Aquí, una segunda etapa de tratamiento (PSA, ver Sección 3.5.1.3) mejora la emisión, se acuerdo con los requisitos de emisión definidos

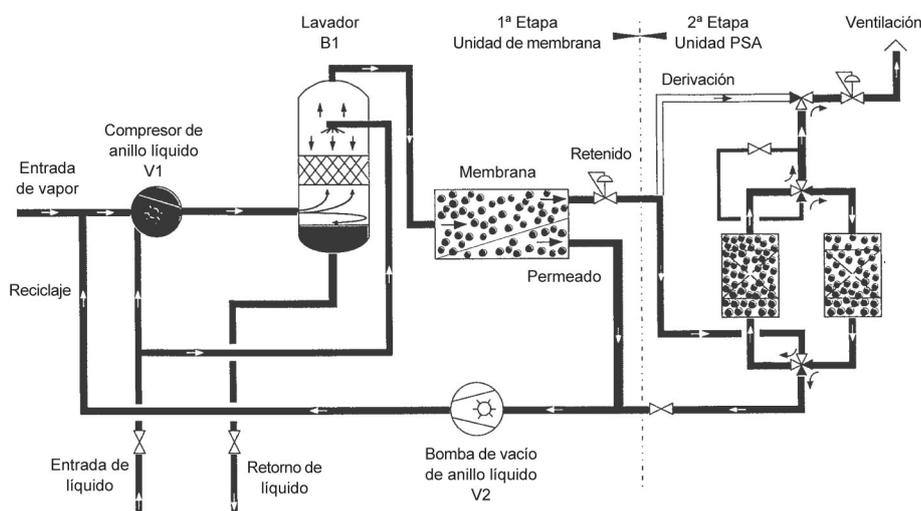


**Aplicación**

La separación con membrana se aplica, por ejemplo, en la industria química, la industria petroquímica, refinerías y la industria farmacéutica, para recuperar vapores de disolventes o de combustibles (gasolina) de gases residuales o aire de escape. Son ejemplos [cww/tm/74] la recuperación de:

- Monómeros de olefinas de corrientes de desgasado de resinas poliolefinicas.
- Cloruro de vinilo de la fabricación de PVC.
- Vapores de disolventes e hidrocarburos del llenado de tanques.
- Materias primas de hidrocarburos de corrientes de gases combustibles y ventilaciones de refinerías.
- Hidrógeno de gas de escape de refinerías.

**Figura 3.47.**  
*Esquema de una instalación común de separación por membrana*



**Figura 3.48.** *Aplicación de un proceso de separación con membrana como unidad de recuperación de vapores (URV)*

Entre los compuestos recuperables se incluyen:

- Alcanos
- Olefinas
- Compuestos aromáticos
- Hidrocarburos clorados
- Alcoholes

- Éteres
- Cetonas
- Esteres.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual	Depende de la superficie de la membrana, se conocen capacidades de 2100-3000 Nm <sup>3</sup> /h
Temperatura	Temperatura ambiente, según el material de la membrana
Presión	Según el material de la membrana
Contenido de polvo	Muy bajo, el polvo puede dañar la superficie de la membrana, por lo que previamente hay que conseguir concentraciones de polvo muy bajas
Concentración de COV	Hasta un 90 %

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite la reutilización de materias primas.</li> <li>• La operación en sí es simple.</li> <li>• El proceso no genera residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere un paso subsiguiente de purificación y/o tratamiento.</li> <li>• Riesgo de explosión.</li> </ul>

### Límites de emisión / Índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Comentarios
Hidrocarburos	90–99 <sup>1,a</sup>	Proceso para recuperación de hidrocarburos, unidad de condensación corriente arriba.
VOC	Hasta un 99,9 <sup>1,a</sup>	Recuperación de COV, unidad de condensación corriente arriba y abajo.
<sup>a</sup> para membranas en solución		
<sup>1</sup> [cww/tm/74]		

### Efectos sobre otros medios

Consumible	Cantidad	Comentarios
Material de la membrana		
Medio de refrigeración		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	250 <sup>1</sup>	Incluye la energía eléctrica para el ventilador
Caída de presión [MPa]	0,1–1 <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		
<sup>2</sup> [cww/tm/64]		

La separación con membrana suele utilizarse como paso de concentración para facilitar la recuperación o tratamiento ulterior, por ejemplo:

- El enriquecimiento de COV en la fase gas aumenta el punto de rocío de la corriente de gas residual, por lo que la condensación subsiguiente se produce más fácilmente, con el consiguiente ahorro económico.
- La incineración de una corriente enriquecida de gas residual reduce la necesidad de combustible adicional.

Los COV de procesos de separación con membrana se suelen reciclar y no se producen residuos del proceso de membrana en sí. No obstante, puede causar residuos en un paso de tratamiento subsiguiente, según la

técnica empleada. Pueden producirse emisiones residuales del agua de refrigeración o de la corriente de gas residual tratada. Estas corrientes de gas son emitidas a la atmósfera a través de una chimenea o son enviadas a un paso subsiguiente de tratamiento de gas residual, como adsorción o incineración.

### Monitorización

La eficacia del sistema de separación con membrana se determina mediante la monitorización de la concentración de COV antes y después del sistema de membrana. Los COV pueden medirse en forma de carbono total, utilizando un detector de ionización de llama. La eficacia se mejora controlando la concentración de COV en ambos lados de la membrana. Por motivos de seguridad, la relación COV / oxígeno debe ser controlada cuidadosamente (riesgo de explosión).

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	300000 EUR <sup>1</sup>	Sistema de tratamiento de 200 Nm <sup>3</sup> /h
Costes operativos		
Mano de obra	1500 EUR/año <sup>1</sup>	4 días al año
Servicios	60000 EUR/año por 1000 Nm <sup>3</sup> /h <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

Los parámetros relevantes en cuanto a costes son el caudal de gas y la vida de servicio técnico de la membrana. Los ingresos son los COV recuperados.

Los costes del sistema varían en relación con el objetivo de recuperación deseado, la capacidad y el diseño. Se reportan periodos de amortización en conexión con productos de alto valor de entre cuatro meses y un año en condiciones favorables [cww/tm/74]. Por otra parte, podría no haber amortización en absoluto. La combinación con otro proceso (ej. adsorción o absorción) puede resultar más rentable que una separación con membrana de un solo paso.

#### 3.5.1.2. Condensación

##### Descripción

La condensación es una técnica que elimina los vapores de disolventes de una corriente de gases residuales, reduciendo su temperatura por debajo del punto de rocío.

Hay cuatro métodos distintos de condensación, según el rango de temperatura operativa:

- Condensación con fluido refrigerante, hasta una temperatura de condensación de unos 25 °C.
- Condensación con refrigerante, temperatura de condensación hasta unos 2 °C.
- Condensación con salmuera, temperatura de condensación hasta unos -10 °C.
- Condensación con salmuera de amoníaco, temperatura de condensación hasta unos -40 °C (una etapa) o -60 °C (dos etapas).
- Condensación criogénica, temperatura de condensación hasta unos -120 °C, en la práctica suele utilizarse a una temperatura entre -40 y -80 °C en el dispositivo de condensación.
- Condensación con gas inerte en ciclo cerrado.

La condensación se realiza mediante refrigeración directa (es decir, con contacto entre el gas y el líquido refrigerante) o refrigeración indirecta (es decir, enfriamiento a través de un intercambiador de calor). Se prefiere la condensación indirecta, ya que la condensación directa requiere una etapa de separación adicional. Los sistemas de recuperación van desde un solo condensador simple a sistemas más complejos con múltiples condensadores diseñados para aumentar al máximo la recuperación de energía y vapor [cww/tm/71].

La condensación con gas inerte en ciclo cerrado está diseñada para sistemas de ciclo cerrado junto con altas concentraciones de vapor. Un volumen fijo de gas inerte – generalmente nitrógeno – es reciclado continua-

mente alrededor del horno y la unidad de condensación. Una parte de la mezcla de nitrógeno / vapor es aspirada continuamente al módulo de recuperación, donde una serie de intercambiadores de calor enfrían y condensan los vapores [cww/tm/71].

El diseño y la operación de los condensadores dependen en gran medida del medio de enfriamiento utilizado en el proceso. Son algunos ejemplos:

- Los dispositivos para condensación mediante refrigeración con líquidos (es decir, no criogénica) operan con dos tipos de intercambiador de calor:

**Intercambiador de calor convencional de cuerpo y tubo** [cww/tm/71], refrigerado por agua o por aire. La eficacia de condensación puede mejorarse mediante una operación en dos etapas, utilizando agua en la primera etapa y líquido refrigerado (agua, salmuera, etc.) como medio refrigerante en la segunda etapa. Este sistema en dos etapas consiste en (Ver Figura 3.49 [cww/tm/71]):

- Un recuperador, que utiliza la corriente de gas purificado frío como agente enfriador.
- Un pre-enfriador para enfriamiento adicional, utilizando agua refrigerada o la corriente de gas purificado frío.
- El condensador del refrigerador principal.
- Ventilaciones y conducciones.

Otra opción utiliza la condensación parcial a una temperatura ligeramente mayor, seguida de la eliminación de los COV restantes de la corriente de gas mediante otra técnica, como adsorción (ver Sección 3.5.1.3).

Para minimizar la formación de neblinas, pueden usarse una serie de condensadores, así como un desnebulizador con el apoyo de una reducción de la velocidad del gas en el condensador.

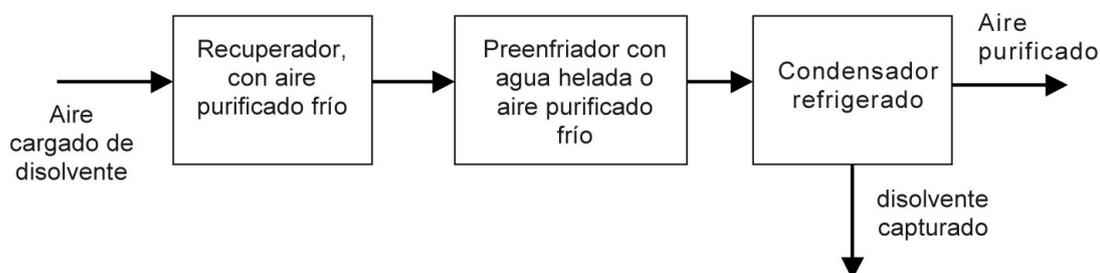


Figura 3.49. Sistema de condensación en dos etapas

El **Intercambiador de calor espiral** [cww/tm/71], consistente básicamente en dos tiras largas de placa entrelazadas para formar un par de pasos concéntricos en espiral. El medio refrigerante entra a través de una boquilla periférica, se mueve en espiral hacia el centro y sale, a través de un tubo, a una boquilla periférica. Los vapores de proceso entran por el fondo del condensador y fluyen ascendentemente en flujo transversal.

Si se incluyen columnas de refrigeración y/o se utiliza agua superficial, los intercambiadores de calor pueden tender al ensuciamiento, lo que requiere programas de enjuague y/o tratamiento del agua de refrigeración.

En presencia de componentes ácidos o alcalinos, puede considerarse un sistema de recirculación que incluya dosificación de ácido o álcali.

- La condensación criogénica opera, utilizando la vaporización de nitrógeno líquido como medio refrigerante, para condensar el vapor de COV en la superficie del condensador. El nitrógeno evaporado se utiliza para proporcionar una capa inerte. Una variante es la condensación bajo atmósfera inerte, por ejem-

pleno nitrógeno, lo que permite que la corriente de gas contenga mayores concentraciones de COV. En la Figura 3.50 y la Figura 3.51 se dan ejemplos de condensación criogénica [cww/tm/71].

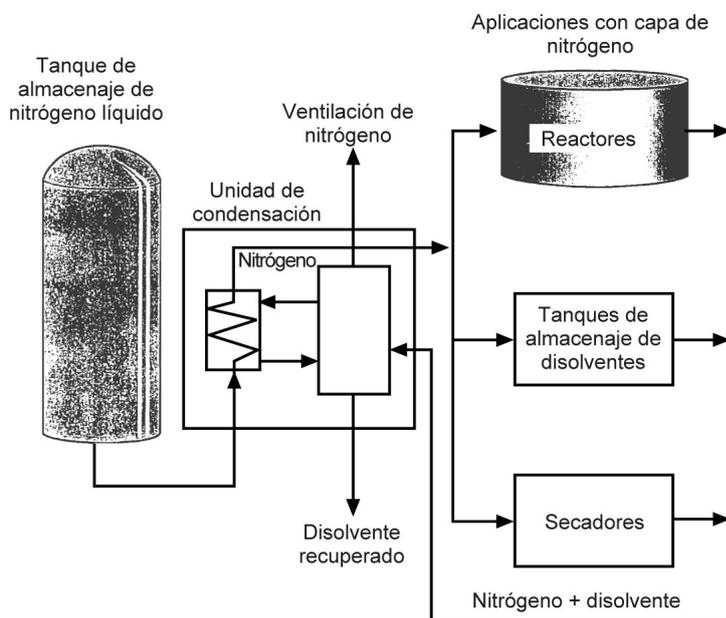


Figura 3.50. Sistema de recuperación por condensación criogénica integrado con una operación típica con capa de nitrógeno

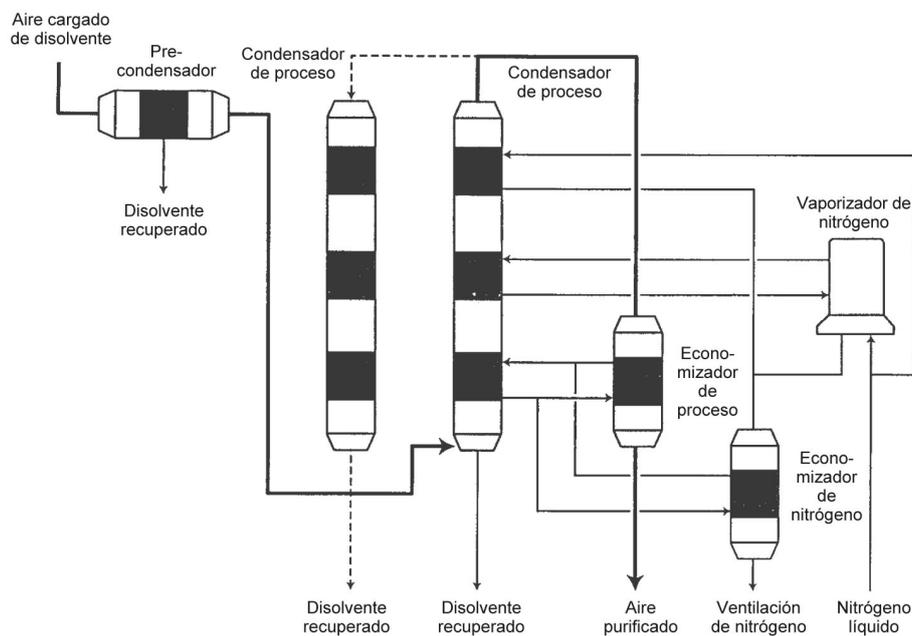


Figura 3.51. Sistema de recuperación criogénica bajo atmósfera inerte

El sistema de condensación criogénica consta de:

- Precondensador, con agua o glicol refrigerado.
- Los condensadores principales de proceso.

- El economizador de proceso.
  - El economizador de nitrógeno
  - El vaporizador de nitrógeno
  - Las ventilaciones y conducciones necesarias.
- Un sistema típico de condensación con gas inerte en ciclo cerrado consta de (ver Figura 3.52 [cww/tm/71]):
    - El intercambiador de calor, que pre-enfría la corriente de gas.
    - El condensador principal, refrigerado mecánicamente a una temperatura de hasta -40 °C.
    - El separador de disolventes, el suministro de nitrógeno.

### Aplicación

#### Condensación con refrigerante

La condensación con refrigerante se aplica a corrientes de gas más o menos saturadas (es decir, de elevado punto de rocío) o compuestos volátiles (orgánicos e inorgánicos) y sustancias olorosas, estas últimas se eliminan de una corriente de gas saturada de agua en la que el agua condensada actúa como absorbente (siempre que sean solubles en agua).

Una aplicación esencial de la condensación con refrigerante es como pretratamiento o postratamiento para instalaciones de tratamiento de gases residuales corriente arriba o corriente abajo. La eliminación de la carga principal de COV alivia las instalaciones de tratamiento como adsorbedores (ver Sección 3.5.1.3), lavadores (ver Sección 3.5.1.4), incineradores (ver Sección 3.5.2.4). Por otra parte, la condensación es un postratamiento adecuado para corrientes de gases enriquecidas por ejemplo por separación con membrana (ver Sección 3.5.1.1) o desorción de agua residual (ver Sección 3.3.4.2.14) y destilación (ver Sección 3.3.4.2.12).

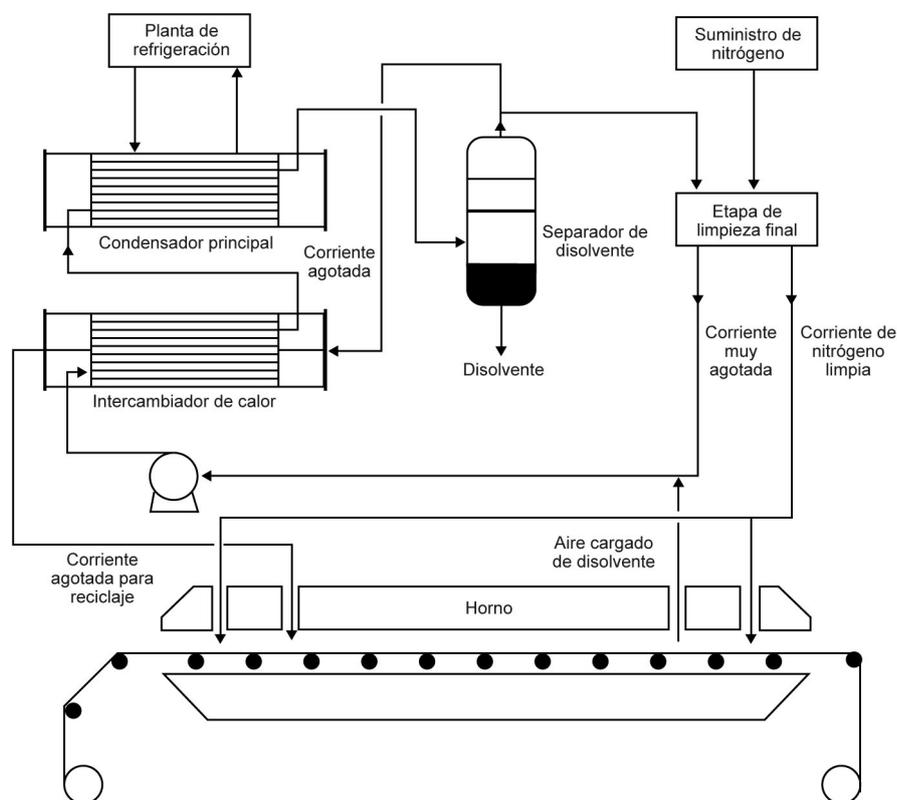


Figura 3.52: Sistema típico de condensación con gas inerte en ciclo cerrado

Los límites y restricciones de aplicación son [cww/tm/70]:

	Límites / restricciones
Caudal de gas	100–100000 Nm <sup>3</sup> /h
Temperatura del gas entrante	50–80 °C
Contenido de agua	El gas debe estar esencialmente exento de agua si la condensación es por debajo de 0 °C
Presión	Atmosférica
Polvo	<50 mg/Nm <sup>3</sup> (no pegajoso)
Olor	>100000 ou/Nm <sup>3</sup>
Amoniaco	200–1000 mg/Nm <sup>3</sup>

### Condensación criogénica

La condensación criogénica permite tratar todos los COV y contaminantes inorgánicos volátiles, independientemente de sus presiones de vapor individuales. Las bajas temperaturas aplicadas permiten eficacias de condensación muy elevadas, lo que hace que sea muy adecuada como control final de emisiones de COV. Por otra parte, las temperaturas por debajo del punto de congelación del agua requieren una alimentación de gas esencialmente exenta de agua. Puede responder de forma instantánea a cambios en el caudal de COV y carga de disolventes, y puede recuperar virtualmente cualquier especie de COV incluso en condiciones variables. Es particularmente adecuada para control de COV en plantas con múltiples productos y aplicaciones en las que se empleen procesos discontinuos o continuos [cww/tm/150].

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Caudal de gas	Hasta 5000 Nm <sup>3</sup> /h
Temperatura de entrada del gas	Hasta 80 °C
Presión	2–600 kPa <sup>1</sup>

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Condensación con refrigerante</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología compacta.</li> <li>• Buen manejo del proceso, las emisiones pueden al menos calcularse aproximadamente.</li> <li>• Alivia las instalaciones de tratamiento corriente abajo de cargas elevadas, lo que mejora la economía.</li> <li>• Permite recuperar disolventes, siempre que la corriente de gas no contenga una mezcla de COV difícil de separar.</li> <li>• Es posible la recuperación de calor.</li> </ul>	<p><u>Condensación con refrigerante</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La cantidad de agua de refrigeración es un aspecto a tener en cuenta en regiones con escasez de agua.</li> <li>• La eficacia depende considerablemente del caudal y composición del gas.</li> <li>• Se requiere purificación y/o tratamiento subsiguiente.</li> </ul>
<p><u>Condensación criogénica</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología compacta.</li> <li>• Recuperación de disolventes orgánicos, siempre que puedan separarse de la mezcla condensada.</li> <li>• Alta eficacia de eliminación de COV.</li> <li>• El nitrógeno gas se recicla.</li> <li>• Posibilidad de buen manejo del proceso, las emisiones pueden al menos calcularse aproximadamente.</li> </ul>	<p><u>Condensación criogénica</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No adecuada para corrientes de gases húmedas, debido a la formación de hielo que impide la transferencia de calor.</li> <li>• Requiere una instalación de producción de nitrógeno, o un suministro externo de nitrógeno.</li> <li>• Los refrigerantes por debajo de 0 °C pueden causar la formación de hielo en el intercambiador de calor.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

#### Condensación con refrigerante

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
Olor	60-90 <sup>1</sup>		inicialmente > 100000 ou/Nm <sup>3</sup>
Amoniaco	20-60 <sup>1</sup>		inicialmente 200-1000 mg/Nm <sup>3</sup>

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

#### Condensación criogénica

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
Diclorometano		<20-<40 <sup>1</sup>	a -95 °C, inicialmente 20-1000 g/Nm <sup>3</sup>
Tolueno		<100 <sup>1</sup>	a -65 °C, inicialmente 20-1000 g/Nm <sup>3</sup>
Metil etil cetona (MEK)		<150 <sup>1</sup>	a -75 °C, inicialmente 20-1000 g/Nm <sup>3</sup>
Acetona		<150 <sup>1</sup>	a -86 °C, inicialmente 20-1000g/Nm <sup>3</sup>
Metanol		<150 <sup>1</sup>	a -60 °C, inicialmente 20-1000 g/Nm <sup>3</sup>
COV		1000-5000 <sup>1</sup>	inicialmente 200-1000 g/Nm <sup>3</sup>

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### Efectos sobre otros medios

#### Condensación con refrigerante

Consumible	Cantidad	Comentarios
Medio refrigerante (aire, agua, salmuera, salmuera-amoniaco)		Depende mucho de la aplicación individual
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]		Ventilaciones, bombas, instalaciones de refrigeración
Caída de presión [kPa]	0,1-0,2 <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

La cantidad de agua residual generada por la instalación de condensación es directamente proporcional a la cantidad de condensado, que a su vez es directamente proporcional al contenido de humedad y la temperatura de refrigeración escogida. Los rangos típicos de contenido de condensado son:

- Condensación de COV: 200-1000 mg/l DQO
- Condensación de amoniaco / aminas: 400-2000 mg/l N-Kjeldahl.

Condensación criogénica

Consumible	Cantidad	Comentarios
Nitrógeno como medio de refrigeración	10–15 kg/kW refrigeración <sup>1</sup>	Depende del diseño de la planta, tipo de disolvente, etc.
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	70	Entrada a 80 °C, salida a –70 °C
Caída de presión [kPa]	2–5 <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/71]		
<sup>2</sup> [cww/tm/70]		

Otros consumibles son:

- Vapor como agente descongelante, cuando un condensador se congela debido a la humedad en la corriente de gas residual.
- Aire comprimido exento de humedad para operaciones neumáticas.

El condensado puede reutilizarse, reprocesarse o desecharse.

El consumo de nitrógeno líquido se divide en:

- Proceso en espera (para mantener la temperatura).
- Enfriamiento de la corriente de gas entrante hasta su condensación.

Tras algunos procesos de condensación todavía hay concentraciones de COV moderadamente elevadas, que pueden requerir tratamiento adicional (ej. adsorción o incineración).

Condensación en ciclo cerrado con gas inerte

Consumible	Cantidad	Comentarios
Nitrógeno como gas inerte, para purgas de emergencia y/o refrigeración	1–2 toneladas/día <sup>1</sup>	
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]		Ventilaciones, bombeo, instalaciones de refrigeración
Caída de presión [kPa]		
<sup>1</sup> [cww/tm/71]		

**Monitorización**

La eficacia del sistema de condensación como sistema de limpieza de aire puede determinarse monitorizando la concentración de los vapores de disolvente antes y después. Los COV pueden medirse como carbono total, excluidas las materias en forma de partículas, utilizando un detector de ionización de llama. Las eficiencias de eliminación para emisiones olorosas se determinan tomando muestras en puntos de muestreo apropiados y analizándolas posteriormente por olfatometría. Los sistemas criogénicos requieren monitorización de la caída de presión.

Los sistemas criogénicos utilizan controladores lógicos programables estándar para controlar los requisitos de nitrógeno para refrigeración. Es posible un funcionamiento automatizado de la planta, siempre que las alarmas se ajusten según lo requerido y los operarios realicen chequeos rutinarios durante cada turno.

Además, en los sistemas de ciclo cerrado con gas inerte, se realiza un análisis de oxígeno para asegurar que se mantenga una atmósfera inerte con un contenido de oxígeno inferior al 5 % –por motivos de seguridad–

en la corriente de la ventilación del horno. Si el contenido de oxígeno es demasiado alto, se inyecta nitrógeno para restablecer la atmósfera inerte [cww/tm/71].

### Economía

Tipo de coste	Costes		
	Condensación con refrigerante	Condensación criogénica	Condensación con gas inerte en ciclo cerrado
Costes de inversión <sup>a</sup>	EUR 5000 <sup>b 1</sup>	EUR 500000 <sup>c 1</sup>	
Costes operativos: Costes de mano de obra	2 horas por semana + 1 jornada de personal por año <sup>1</sup>	1 jornada de personal por semana <sup>1</sup>	

<sup>a</sup> por 1000 Nm<sup>3</sup>/h  
<sup>b</sup> excluyendo bombas, conducciones, columna de refrigeración  
<sup>c</sup> excluyendo técnicas secundarias y almacenaje de nitrógeno  
<sup>1</sup> [cww/tm/70]

Los ingresos son los COV recuperados.

Factores de costes [cww/tm/71]:

Factores	Influencia / resultados
Caudal de las emisiones	Tamaño global del sistema, requisitos de servicios
Reducción de temperatura requerida, es decir carga de refrigeración	Costes de equipo (directamente proporcionales), suministro de agente refrigerante (directamente proporcional)
Mezclas de disolventes	Complejidad de las técnicas de separación corriente abajo (directamente proporcional), consumo de energía de las técnicas de separación (directamente proporcional).
Solubilidad de los disolventes	Complejidad de las técnicas de separación corriente abajo (directamente proporcional), consumo de energía de las técnicas de separación (directamente proporcional).

Aplicabilidad en instalaciones existentes [cww/tm/71]:

Condensación con refrigerante	Condensación criogénica	Condensación con gas inerte en ciclo cerrado
Fácilmente aplicable cuando hay disponible agua de refrigeración, con los intercambiadores de gas situados cerca o encima de equipo correspondiente.	Puede montarse sobre correderas, puede sustituir los vaporizadores de nitrógeno existentes, debe instalarse cerca de una fuente de nitrógeno líquido para minimizar la longitud del conducto criogénico. Los sistemas pueden incorporarse a plantas existentes o integrarse en nuevas plantas.	Es difícil de aplicar en plantas de producción existentes; es más adecuada para plantas nuevas.

3.5.1.3. Adsorción

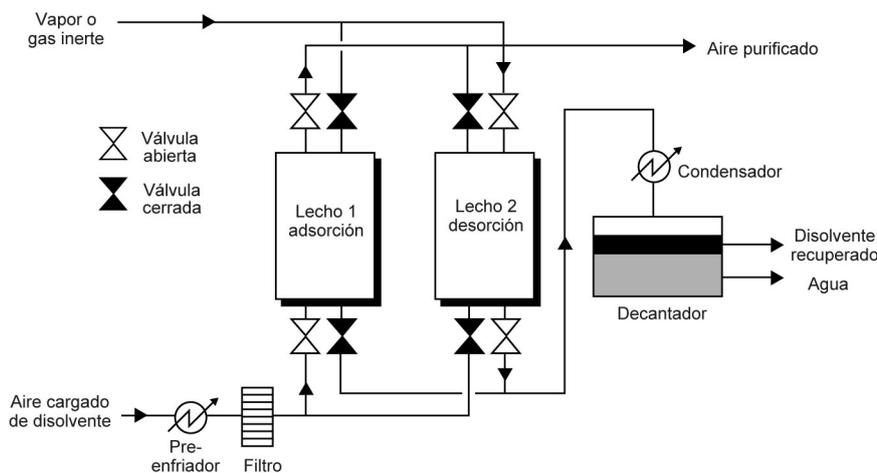
**Descripción**

La adsorción es una reacción heterogénea en la que moléculas de gas son retenidas sobre una superficie sólida (adsorbente) que prefiere compuestos específicos a otros y con ello los elimina de corrientes efluentes. Cuando la superficie ha adsorbido casi el máximo de su capacidad, el contenido adsorbido se desorbe como parte de la regeneración del adsorbente. Una vez desorbidos, los contaminantes tienen normalmente una concentración mayor y pueden ser recuperados o eliminados (destruidos) [cww/tm/135].

Los principales tipos de sistemas de adsorción son:

- Adsorción en lecho fijo
- Adsorción en lecho fijo fluidizado
- Adsorción continua en lecho móvil
- Adsorción por oscilación de presión.

Los procesos de **adsorción en lecho fijo** (ver figura 3.53 [cww/tm/71]) son ampliamente utilizados. El gas residual, el aire extraído, etc. son acondicionados corriente arriba mediante enfriamiento, condensación parcial de vapor de agua y calentamiento para reducir la humedad relativa y minimizar la coadsorción de agua. El gas se alimenta a unos 40 °C al adsorbedor, asciende y sale purificado. Para permitir la regeneración, los adsorbedores se utilizan normalmente en forma de instalaciones de varios lechos (2 o 3), es decir, mientras un lecho recibe carga, el otro es regenerado y, opcionalmente, hay un tercer lecho en modo de espera. En la Figura 3.53 se muestra un proceso de adsorción de doble lecho.



**Figura 3.53.**  
*Proceso típico de adsorción de doble lecho*

Los procesos de **lecho fluidizado** (ver Figura 3.54 [cww/tm/132]) utilizan la velocidad del gas (principalmente del orden de 0,8–1,2 m/s) para mantener el adsorbente en estado fluidizado. Estos sistemas requieren perlas de adsorbente resistentes a la atrición. Funcionan en régimen de adsorción / desorción continua, y el adsorbente es regenerado en un intercambiador de calor bajo el adsorbedor y posteriormente es devuelto neumáticamente al lecho fluidizado.

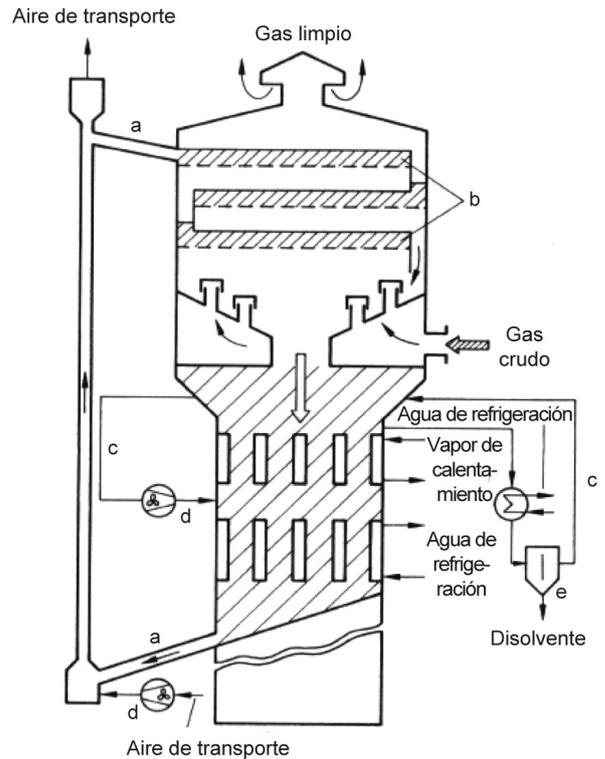
En los procesos de **lecho móvil continuo** (ver Figura 3.55 [cww/tm/71]), el adsorbente es alimentado continuamente en la parte superior del adsorbedor, pasando por la corriente de gas a contracorriente. El adsorbente saturado de la parte inferior del recipientes es transferido continuamente a un regenerador de lecho móvil

La **adsorción por oscilación de presión (PSA)** puede separar gases o vapores en una mezcla de gas residual y simultáneamente regenerar el adsorbente. Consiste en cuatro pasos:

- Paso 1: La presión se acumula por la entrada de la corriente de gas en el adsorbedor.
- Paso 2: Adsorción a alta presión y por tanto producción de componentes puros.

Paso 3: Despresurización.  
 Paso 4: Purga a baja presión o con vacío.

Este proceso de cuatro pasos produce una separación de componentes según su fuerza de unión al adsorbente. Con instalaciones de tratamiento corriente abajo, esta técnica mejora la capacidad de recuperación y reutilización de las mezclas de gases residuales.



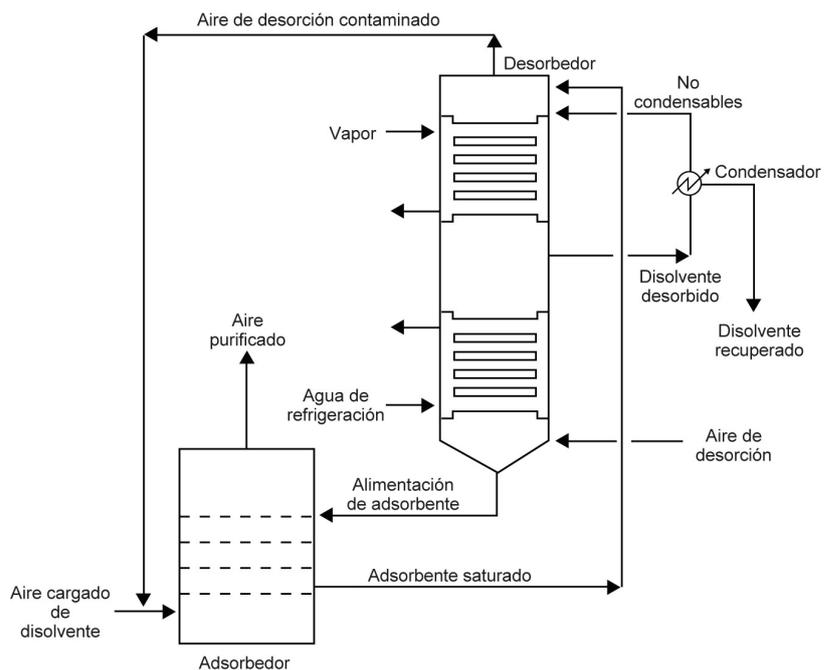
**Figura 3.54.**  
**Adsorción en lecho fluidizado**  
 a) adsorbente regenerado,  
 b) lecho fluidizado,  
 c) gas inerte,  
 d) ventilador, e) separador

Son adsorbente típicos, por ejemplo [cww/tm/71]:

- Carbón activado granulado (GAC), el adsorbente más común, con un amplio espectro de eficacia y no restringido a compuestos polares o no polares; El GAC puede impregnarse, por ejemplo, con oxidantes como permanganato potásico o con compuestos de azufre (mejorando la retención de metales pesados) [cww/tm/70].
- Zeolitas, cuyas propiedades dependen de su fabricación, funcionando como meros tamices moleculares, como intercambiadores iónicos selectivos o como adsorbedores hidrofóbicos de COV.
- Partículas poliméricas macroporosas, que se utilizan en forma de gránulos o perlas, con una selectividad no demasiado alta con respecto a COV.
- Gel de sílice.
- Silicatos de sodio-aluminio.

Además de los métodos de regeneración continuos y simultáneos antes descritos, existen varios métodos para regenerar el adsorbente de los adsorbedores de lecho fijo:

- Regeneración por oscilación térmica.
- Regeneración al vacío.
- PSA, descrita anteriormente.



**Figura 3.55: Adsorción y desorción continua en lecho móvil**

La **regeneración por oscilación térmica** utiliza varias fuentes de calor:

- Vapor, la más común
- Microondas
- Calentadores integrados
- Gas caliente, que utiliza un gas inerte caliente por motivos de seguridad, con GAC como adsorbente.

El vapor sobrecalentado se hace pasar en sentido descendente a través del adsorbente y de este modo lleva los compuestos cargados hasta una unidad de condensación y separación, como separadores por gravedad o instalaciones de destilación. El calor sobrecalentado es el principal método de regeneración para GAC, aunque los gases inertes calientes también se aplican. Las zeolitas pueden regenerarse mediante corrientes de aire caliente. Los absorbentes con polímeros permiten temperaturas de regeneración mucho más bajas para vapor o gas caliente (unos 80 °C).

La **regeneración al vacío** permite la desorción a temperatura ambiente del adsorbente, lo que es adecuado para recuperar y reutilizar sustancias vulnerables. Este método se aplica a adsorbentes de GAC, zeolitas y polímeros.

### Aplicación

La aplicación de adsorbentes se utiliza:

- Para recuperación de COV (materia prima, disolvente, combustible de operaciones de llenado, etc.) para reutilización o recirculación, probablemente como paso de concentración para mejorar la viabilidad de posteriores operaciones de recuperación como separación con membrana (ver Sección 3.5.1.1).
- Para eliminación de contaminantes (sustancias peligrosas de instalaciones de producción o tratamiento [ej. PTAR] como COV, olores, trazas de gases, etc.) que no pueden recircularse o utilizarse de otro modo, posiblemente con GAC como adsorbente, no regenerados sino incinerados.
- Como filtro de protección después de las instalaciones de tratamiento final.

La aplicación como tecnología de eliminación no está recomendada para gases residuales con concentraciones muy elevadas de COV, ya que los requisitos de regeneración consiguientes afectarían de forma adversa la rentabilidad. Normalmente hay técnicas más adecuadas.

La tecnología de adsorción es aplicable para controlar, recuperar, reciclar o preparar (para tratamiento corriente abajo) las emisiones de COV y de contaminantes atmosféricos orgánicos peligrosos, por ejemplo las emisiones de:

- Desengrase
- Rociado de pinturas
- Extracción con disolventes
- Recubrimiento con papel metálico
- Recubrimiento con película plástica
- Fármacos
- Gas combustible, gasolina, etc.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones		
	GAC	Zeolitas	Polímeros
Caudal de gas [Nm <sup>3</sup> /h]	100–100000 <sup>1</sup>	<100000 <sup>1</sup>	
Temperatura [°C]	15–80 <sup>1</sup>	<250 <sup>1</sup>	
Presión [MPa]	0,1–2 <sup>1</sup>	atmosférica <sup>1</sup>	
Contenido de COV	máximo 25 % del LEI	máximo 25 % del LIE	máximo 25 % del LEI
Dioxinas [ng/Nm <sup>3</sup> TEQ]	10–100 <sup>1</sup>		
Humedad relativa	máximo <70 % lo más baja posible		

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta eficacia de eliminación y recuperación de COV.</li> <li>Tecnología simple y robusta.</li> <li>Alto grado de saturación del adsorbente.</li> <li>Instalación simple.</li> <li>Mantenimiento simple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las partículas en la corriente de gas residual pueden causar problemas.</li> <li>Las mezclas pueden causar una pronta saturación.</li> <li>No adecuado con corrientes de gas residual húmedas.</li> <li>Riesgo de incendios en el lecho (GAC y zeolitas, ya que los polímeros operan a temperaturas más bajas).</li> <li>Potencial de polimerización de compuestos orgánicos insaturados sobre el GAC.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
COV	80–95 <sup>1</sup>		GAC
Tolueno	90 <sup>1</sup>		GAC
Olor	80–95 <sup>1</sup>		GAC, Zeolita
Mercurio		<0,01-0,05 <sup>1</sup>	GAC
Sulfuro de hidrógeno	80–95 <sup>1</sup>		GAC
Dioxinas		<0,1 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ <sup>1</sup>	GAC

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad			Comentarios
	GAC	Zeolita	Polímeros	
Vapor (desorción) [kg/kg disolvente recuperado]	1,5-6 <sup>1</sup>			
Nitrógeno gas (desorción con gas caliente) [Nm <sup>3</sup> / tonelada disolvente]	35 <sup>1</sup>			
Agua de refrigeración (condensación) [m <sup>3</sup> /tonelada disolvente]	35–60 <sup>2</sup> 100–150			Para las 3 técnicas de adsorción
Pérdida de adsorbente [kg/ tonelada disolvente]	0,5–1 <sup>2</sup>			
Caída de presión [kPa]	2–5 <sup>2</sup>			
Energía [kWh/ tonelada disolvente]	35–100 <sup>2</sup> 130–260			

<sup>1</sup> [cww/tm/71]  
<sup>2</sup> [cww/tm/64]

La regeneración con vapor produce agua residual con cargas relativamente elevadas de contaminantes, que debe descargarse a un tratamiento de aguas residuales. Cuando no hay regeneración, el adsorbente debe desecharse, normalmente mediante su envío a incineración, una vía no adecuada para adsorbentes cargados con mercurio. La regeneración y/o desecho de adsorbentes puede realizarse a través de empresas externas.

Puede ser necesario el tratamiento adicional del gas corriente abajo, según los requisitos legales.

Dado que todos los procesos de adsorción son exotérmicos, producen un aumento de temperatura, que no es deseable para la adsorción de compuestos orgánicos. El carbono o los metales presentes en el GAC, así como en las zeolitas, pueden catalizar la oxidación de algunos componentes mientras el adsorbente esté caliente,

produciendo incendios en el lecho que también consumen parte o la totalidad del GAC pero no de las zeolitas. Esto es un peligro a la hora de adsorber determinados hidrocarburos (como cetonas o compuestos activos comparables) a temperaturas ambiente que están próximas a las que causan la oxidación del compuesto orgánico. Un incendio de este tipo en un lecho de GAC puede alterar el tamaño de poro del resto del lecho, u oxidar el lecho a ceniza, lo que supone un incidente grave que podría quemar toda la instalación. Estos incendios pueden suprimirse mediante la humidificación del aire y mediante la refrigeración expresa del GAC.

**Monitorización** [cww/tm/79]

La eficacia de eliminación del sistema se determina monitorizando la concentración de COV / olor antes y después. Los COV pueden medirse como carbono total (excluidas partículas), utilizando un detector de ionización de llama (FID). Puede realizarse un análisis cualitativo de las emisiones si se toman muestras de gas en puntos de muestreo seleccionados y se analizan subsiguientemente mediante CG/EM o CG/FID. Las eficacias de eliminación de emisiones olorosas se determinan tomando muestra en puntos de muestreo apropiados y analizándolas subsiguientemente por olfatometría.

La medición más importante es la caída de presión a través de los filtros de polvo y a través del lecho de adsorbente. A través de los filtros, la presión debe aumentar gradualmente tras su renovación o limpieza. Un aumento demasiado rápido da una indicación de una caída de presión demasiado grande posteriormente debido a una carga de polvo anormal.

A través del lecho, la presión debe mantenerse más o menos constante. Los aumentos de presión indican que el polvo traspasa el filtro de polvo o la presencia de polvo de adsorbente por la ruptura de los gránulos. También debe existir una alarma de alta presión.

Se requiere la monitorización de temperatura de la salida de gas del adsorbedor de GAC para evitar el riesgo de incendio.

Los sistemas de adsorción están normalmente controlados por un controlador lógico programable, y los nuevos sistemas están basados en un uso secuencial de los lechos. Cuando el nivel de emisión de un lecho operativo alcanza un nivel preseleccionado, los lechos se cambian y se inicia la regeneración. Esto es eficiente desde el punto de vista energético, ya que la desorción se realiza siempre en un lecho saturado.

Sujeto a la consideración de los riesgos de incendio, los sistemas de control pueden diseñarse para permitir una concentración de disolvente de hasta un 25 % del LEI. Esto minimiza el consumo de energía de los ventiladores y el consumo de vapor. Si los caudales y las cargas de disolventes son variables, el consumo de energía eléctrica puede optimizarse acoplando amortiguadores de control o motores de velocidad variable en el ventilador [cww/tm/71].

**Economía**

Tipo de coste	GAC	Zeolita	Polímero	Comentarios
Coste de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	EUR 5000-10000 <sup>1</sup>			Excluida regeneración
	EUR 240000 <sup>1</sup>			Incluida regeneración <sup>a</sup>
Costes operativos				
Servicios				
Consumibles	EUR 600-1300 por tonelada de GAC			Incluido desecho

<sup>a</sup> instalación para 1000 Nm<sup>3</sup>/h

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

Factores de costes [cww/tm/71]:

Factores	Influencia / resultados
Caudal de emisión	Tamaño global del sistema, requisitos de servicios
Eficacia de adsorción del disolvente, concentración de disolvente	Cantidad de adsorbente requerida
Tipo de disolvente	Elección de adsorbente
Solubilidad del disolvente	Complejidad de las técnicas de separación corriente abajo (directamente proporcional a la solubilidad), consumo de energía de las técnicas de separación (directamente proporcional).
Mezclas de disolventes	Complejidad de las técnicas de separación corriente abajo (directamente proporcional), consumo de energía de las técnicas de separación (directamente proporcional).
Carga de disolvente	Uso de servicios (vapor) en el ciclo de adsorción / desorción y ritmo de degradación del adsorbente.
Presencia de impurezas	Reducción de la vida útil del adsorbente.
Facilidad de desorción del disolvente	Temperatura de desorción.

Aplicabilidad en instalaciones existentes [cww/tm/71]:

GAC	Zeolitas	Polímeros
Siempre que haya bastante espacio disponible, la aplicación de un sistema de adsorción a un proceso de fabricación existente es generalmente sencilla. El requisito de espacio de una unidad de adsorción / desorción continua es de aproximadamente el 25 % del de un sistema de adsorbedor de doble lecho.		

#### 3.5.1.4. Lavadores húmedos para la eliminación de gases

##### Descripción

El lavado (o absorción) húmedo es una transferencia de materia entre un gas soluble y un disolvente –con frecuencia agua– en contacto entre sí. El lavado físico es preferible para la recuperación de compuestos químicos, mientras que el lavado químico se limita a retirar y eliminar los compuestos gaseosos. El lavado fisicoquímico es una solución intermedia. El componente se disuelve en el líquido absorbente e interviene en una reacción química reversible, que permite la recuperación del componente gaseoso [cww/tm/132].

Las principales aplicaciones para tratamiento de gases residuales de los procesos de lavado son:

- Eliminación de contaminantes gaseosos, como haluros de hidrógeno, SO<sub>2</sub>, amoníaco, sulfuro de hidrógeno o disolventes orgánicos volátiles.
- Eliminación de SO<sub>2</sub> o haluros de hidrógeno.
- Y también eliminación de polvo con ciertos tipos de lavadores (ver Sección 3.5.3.4).

Según los contaminantes a eliminar, se utilizan varios líquidos de lavado acuosos:

- Agua, para eliminar disolvente y gases como haluros de hidrógeno y amoníaco, con la finalidad principal de recuperar y reutilizar estos contaminantes.
- Soluciones alcalinas, para eliminar componentes ácidos como haluros de hidrógeno, dióxido de azufre, fenoles, cloro; también se como lavado de segunda etapa para eliminar residuos de haluros de hidrógeno tras absorción acuosa en la primera etapa; desulfurización de biogás.
- Soluciones alcalinas – oxidantes, es decir, soluciones alcalinas con hipoclorito sódico, dióxido de cloro, ozono o peróxido de hidrógeno.
- Soluciones de bisulfito sódico, para reducir el olor (ej. aldehídos).
- Soluciones de Na<sub>2</sub>S<sub>4</sub> para eliminar mercurio de gases residuales.
- Soluciones ácidas, para eliminar amoníaco y aminas.
- Soluciones de monoetanolamina y dietanolamina, adecuadas para la absorción y recuperación de sulfuro de hidrógeno.

Se utilizan varios tipos de absorbedores, como:

- Lavador con relleno fibroso
- Lavado de lecho móvil
- Lavador de lecho relleno
- Lavador de columna de platos
- Torre de rociado.

La elección de los mismos depende de lo siguiente:

- Eficacia requerida
- Consumo de energía
- Reactivos
- Propiedades de la corriente de gas residual.

Un diseño óptimo de los sistemas de lavado para conseguir bajas concentraciones de salida incluye alta fiabilidad, operación automática y flujo a contracorriente de líquido y gas. Los lavadores operan normalmente con pre-enfriadores (ej. cámaras de rociado y enfriadores rápidos) para bajar la temperatura del gas de entrada y simultáneamente saturar la corriente de gas, evitando con ello la reducción de los índices de absorción y la evaporación de disolventes. Estos dispositivos adicionales producen bajas caídas de presión.

• **Lavador de relleno fibroso**

El lavador de relleno fibroso (lavador de lecho de fibra) consiste en una cámara con entrada y salida de gas, que contiene planchas de material de relleno fibroso que se rocían con líquido. Las unidades pueden estar diseñadas para flujo de gas horizontal o vertical. Los materiales típicos son fibras de vidrio, plástico y acero. Se utilizan para eliminar componentes ácidos (fluoruro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno, ácido sulfúrico y ácido crómico) y compuestos orgánicos / inorgánicos de las corrientes de gas efluentes.

El bloqueo de boquillas, atasco de lechos de fibras y la insuficiente irrigación de las planchas fibrosas pueden ser fuentes de problemas.

Las corrientes de gases residuales se suelen enfriar antes de entrar en lavadores de relleno fibroso para condensar la mayor cantidad posible de líquido del caudal, así como para aumentar el tamaño de las partículas de aerosol existentes a través de la condensación. Normalmente se utiliza un filtro previo para eliminar las partículas grandes de la corriente de gas antes de su entrada en el lavador [cww/tm/110].

• **Lavadores de lecho móvil**

Los lavadores de lecho móvil consisten en zonas de relleno móvil, normalmente esferas de plástico. El recipiente en sí contiene rejillas de soporte, en las que se coloca el material de relleno, entradas y salidas para el licor de lavado de gas y un eliminador de neblinas. Los lavadores de lecho móvil se aplican para eliminar dióxido de azufre, fluoruro de hidrógeno y olores. También se utilizan para tratar gases residuales que contienen polvo, y cuando pueden formarse incrustaciones. En la Figura 3.56 [cww/tm/79] se muestra un dispositivo típico.

Los lavadores de lecho móvil están rellenos con esferas de plástico de baja densidad que tienen libertad de movimiento sobre las rejillas de soporte. Estos lavadores son menos susceptibles a obstrucciones, ya que las esferas huecas de plástico se mantienen en un estado constante de agitación y fluidización. El relleno móvil de la columna resiste los atascos. Este movimiento constante y la superficie lisa de las esferas evita que se adhieran incrustaciones al relleno.

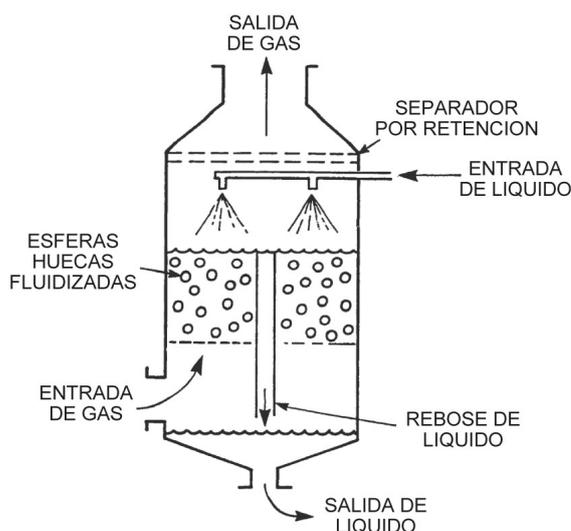


Fig. 3.56. Lavador de lecho móvil

### Lavadores de lecho relleno

Los lavadores de lecho relleno consisten en una carcasa externa que contiene un lecho de materiales de relleno de diversas formas sobre rejillas de soporte, distribuidores de líquido, entradas y salidas de gas y de líquido y un eliminador de neblina. En diseños verticales (columnas rellenas), la corriente de gas fluye ascendentemente en la cámara (a contracorriente del líquido). Son los absorbedores de uso más común para control de la contaminación. Los lavadores de lecho relleno, con reactivos apropiados, se utilizan para absorber dióxido de azufre, ácido crómico, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, cloruros, fluoruros y COV. En la Figura 3.57 [cww/tm/79] se muestra un ejemplo típico.

Los lavadores de lecho relleno no son adecuados para la recogida de partículas, debido a que se obstruyen. Generalmente están limitados a aplicaciones en las que el contenido de partículas es inferior a  $0,5 \text{ g/Nm}^3$ . Las obstrucciones e incrustaciones son problemas serios para los lavadores de lecho relleno, ya que es más difícil acceder al relleno y limpiarlo que en otros diseños de lavadores. En consecuencia, puede ser necesario instalar un dispositivo separado de eliminación de partículas de gran eficacia antes del absorbedor de lecho relleno.

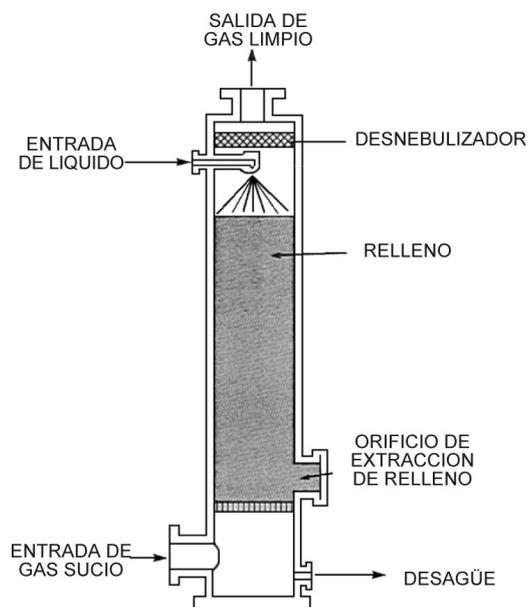


Figura 3.57. Lavador de lecho relleno

- Lavadores de columna de platos

Los lavadores de columna de platos consisten en una columna vertical con varios platos perforados (tipo borboteo o tamiz) horizontales apilados en la misma. Hay pantallas situadas a una corta distancia encima de las aberturas de los platos. La aplicación típica de los lavadores de columna de platos es la absorción de ácidos, dióxido de azufre y olores. Se presenta un ejemplo en la Figura 3.58 [cww/tm/79].

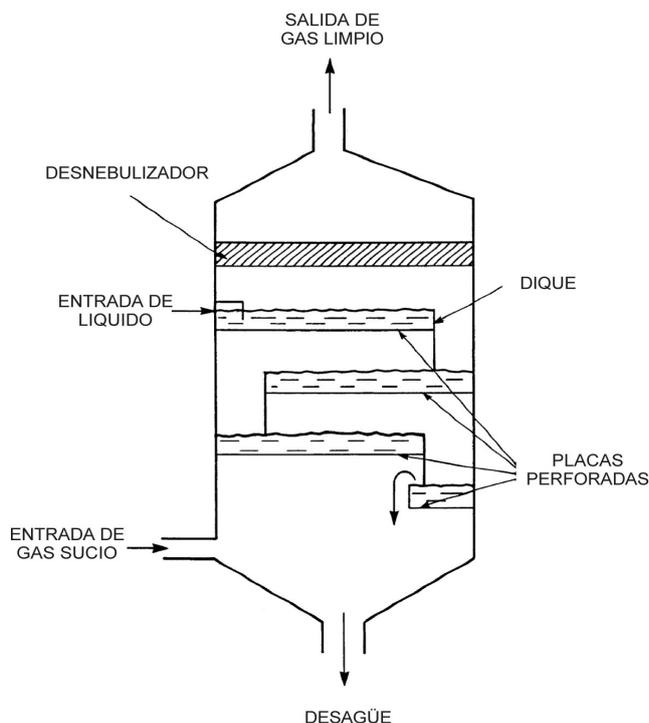


Figura 3.58: Lavador de columna de platos

Los lavadores de columna de platos no son adecuados para líquidos espumantes. Cuando se utiliza absorción para eliminar COV, los lavadores rellenos son normalmente más rentables que los lavadores de columna de platos. No obstante, el diseño con platos es preferible a los lavadores rellenos cuando se desea refrigeración interna, o cuando los bajos caudales de líquido no mojarían adecuadamente el relleno.

Los lavadores de columna de platos se utilizan normalmente por su alta eficacia y facilidad de mantenimiento. Normalmente están diseñados para facilitar un fácil acceso del operario a cada plato, haciendo que sean relativamente fáciles de limpiar y mantener. La altura de la columna y la cantidad de material de relleno y/o el número de platos metálicos, junto con la caída de presión en la columna, determinan normalmente el caudal de gas residual. La caída de presión es un factor determinante en la elección del lavador y, a este respecto, los lavadores de columna de platos se

comparan favorablemente con otros métodos de limpieza de gases por lo que respecta a la relación entre eficacia y coste. A altos caudales de gas, las columnas de platos tienen mayores caídas de presión y una mayor retención de líquido.

La absorción química de contaminantes gaseosos nocivos como dióxido de azufre, cloro y sulfuro de hidrógeno puede conseguirse mediante el contacto de la corriente de aire con agentes químicos adecuados en los platos. No obstante, se prefieren las columnas rellenas a las columnas de platos cuando se trata de ácidos u otras materias corrosivas, ya que la construcción de la columna puede entonces ser de fibra de vidrio, PVC u otros materiales resistentes a la corrosión de menor coste.

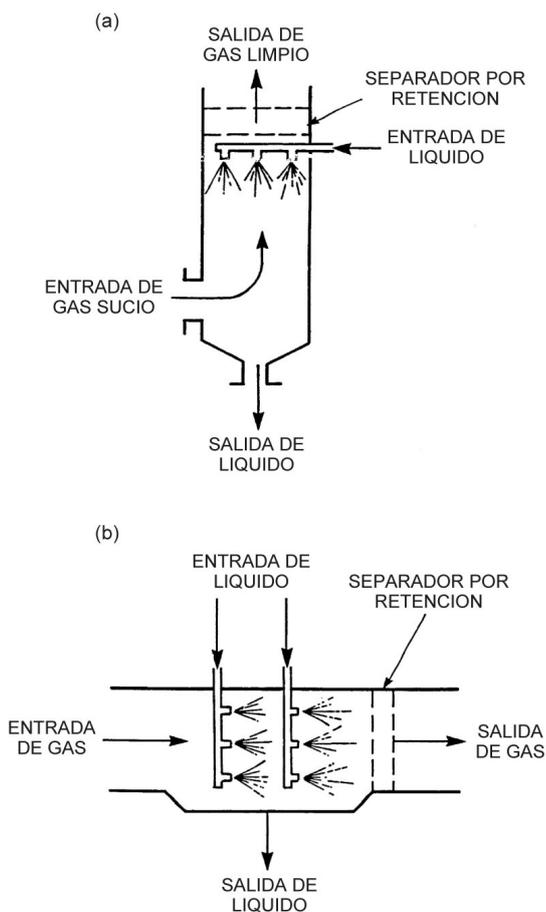
• **Torres de rociado**

Las torres de rociado (o lavadores de rociado) consisten en boquillas de rociado en la parte superior de la torre, a través de las cuales entra el líquido de lavado, y una entrada de gas cerca del fondo. Generalmente, la corriente de gas residual asciende por la torre a contracorriente del líquido. La aplicación típica de las torres de rociado es la eliminación de gases ácidos y olores. Se presenta un ejemplo en la Figura 3.59 [cww/tm/79].

La obstrucción de las boquillas de rociado puede causar problemas.

Las torres de rociado son las configuraciones tradicionales de lavadores húmedos utilizadas para poner los gases residuales en contacto con un absorbente. No obstante, tienen una menor capacidad de transferencia de materia, por lo que generalmente están limitadas a la eliminación de gases altamente solubles.

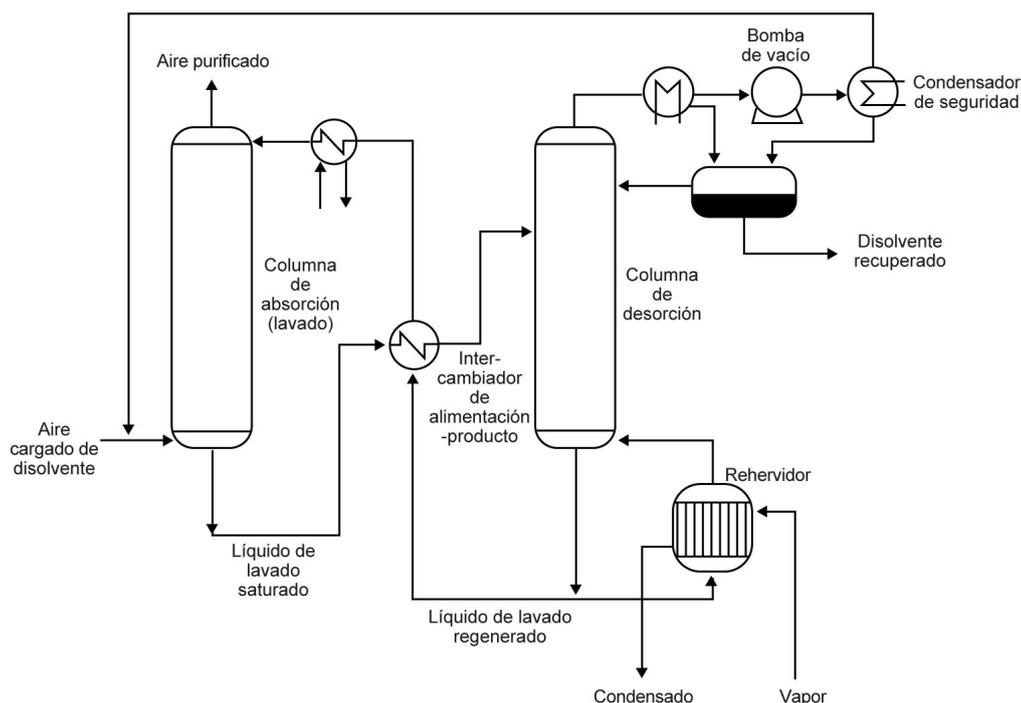
Las concentraciones de contaminantes típicas son del orden de 100 a 10000 mg/Nm<sup>3</sup>. Los lavadores húmedos de torre de rociado no tienen tanta tendencia al ensuciamiento como los lavadores rellenos, pero se requieren relaciones líquido-gas muy altas (>3 l/m<sup>3</sup>) para capturar partículas finas.



**Figura 3.59: Torre de rociado, (a) Contracorriente, (b) Cocorriente**

Cuando hay que recuperar gases absorbidos, es necesario un paso adicional de desorción. El método habitual de desorción / regeneración del contenido orgánico es la destilación o la desorción con vapor, transfiriendo el contenido gaseoso de vuelta a la fase gaseosa. Con la desorción como regeneración, el gas desorbido es posteriormente condensado y recogido. El condensado se reutiliza directamente en el proceso o se separa en sus componentes, por ejemplo mediante destilación. La desorción y la destilación se realizan a presión reducida con objeto de reducir la temperatura y minimizar el riesgo de degradación de los compuestos orgánicos [cww/tm/71].

En la Figura 3.60 [cww/tm/71] se muestra un sistema típico de absorción / desorción. La desorción por vacío, como se muestra en la Figura 3.60, no es un caso general, sino una opción. Facilita la ebullición del líquido de lavado (disolvente) pero dificulta su condensación.



**Figura 3.60: Sistema típico de absorción / desorción**

### Aplicación

La absorción se utiliza ampliamente como técnica de recuperación de materia prima y/o producto para la separación y purificación de corrientes gaseosas que contienen elevadas concentraciones de COV, especialmente compuestos solubles en agua – como alcoholes, acetona o formaldehído. El uso de la absorción como técnica de control primario para vapores orgánicos está sujeta a la disponibilidad de un disolvente adecuado, con un alta solubilidad para el gas, baja presión de vapor y baja viscosidad.

Como técnica de control final de las emisiones, el lavado de gases se emplea más comúnmente para compuestos inorgánicos que para COV. Su idoneidad como método de control de la contaminación depende de:

- El valor de recuperación del contaminante
- El coste de desecho del agua residual
- La eficacia de eliminación requerida
- La concentración de contaminante en el gas residual de entrada
- La disponibilidad de un disolvente / reactivo químico adecuado.

La absorción se ve mejorada por:

- Mayor superficie de contacto
- Mayores relaciones líquido-gas
- Mayores concentraciones en la corriente de gas
- Menor temperatura.

Normalmente se requieren concentraciones bajas de COV peligrosos en el gas de salida, lo que hace que las columnas de absorción deban ser demasiado altas, ya que los largos tiempos de contacto y las altas relaciones líquido-gas no suelen ser rentables. Por consiguiente, los lavadores húmedos son más eficaces para el control de COV peligrosos cuando se utilizan en combinación con otros dispositivos de control, como adsorbedores de GAC (ver Sección 3.5.1.3) o incineradores de gases residuales (ver Secciones 3.5.2.4 y 3.5.2.5).

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Caudal de gas [Nm <sup>3</sup> /h]	50–500000 <sup>1</sup>
	1800–170000 (lavador de relleno fibroso) <sup>2</sup>
	900–130000 (lavador de lecho relleno) <sup>3</sup>
	1700–130000 (lavador de columna de platos) <sup>4</sup>
	2500–170000 (torre de rociado) <sup>5</sup>
Temperatura [°C]	5–80 (general) <sup>1</sup>
	<60 (lavador de relleno fibroso) <sup>2</sup>
	4–38 (lavador de lecho relleno, para control de contaminantes gaseosos) <sup>3</sup>
	4–38 (lavador de columna de platos, para control de contaminantes gaseosos) <sup>4</sup>
	4–38 (torre de rociado, para control de contaminantes gaseosos) <sup>5</sup>
	10–40 (lavado alcalino - oxidante) <sup>1</sup>
	30 (desulfurización de biogás) <sup>1</sup> (una temperatura elevada del gas puede producir considerables pérdidas por evaporación del líquido de lavado)
Presión	atmosférica
Carga contaminante [g/Nm <sup>3</sup> ]	0.2–11 (lavador de relleno fibroso) <sup>2</sup>
Partículas [mg/Nm <sup>3</sup> ]	450 (lavador de lecho relleno) <sup>3</sup>

<sup>1</sup> [cww/tm/70] <sup>2</sup> [cww/tm/110] <sup>3</sup> [cww/tm/113] <sup>4</sup> [cww/tm/111] <sup>5</sup> [cww/tm/114]

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Generales</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplia gama de usos.</li> <li>• Eficacia muy alta.</li> <li>• Instalación compacta gracias a una relación favorable entre capacidad y volumen del dispositivo.</li> <li>• Tecnología simple y robusta.</li> <li>• Mantenimiento simple.</li> <li>• Sólo algunos componentes sensibles al desgaste.</li> <li>• Puede manejar gas / polvo inflamable y explosivo con poco riesgo.</li> <li>• Puede también enfriar corriente de gas caliente.</li> <li>• Puede manejar neblinas.</li> <li>• Permite neutralizar gases y polvos corrosivos.</li> </ul>	<p><u>Generales</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere agua o agentes químicos diluidos para la restitución del agua purgada y de las pérdidas por evaporación.</li> <li>• El agua residual generada por la sustitución del líquido de lavado requiere tratamiento.</li> <li>• Se requieren agentes acondicionadores (ácidos, bases, oxidantes, ablandadores) para muchas aplicaciones.</li> <li>• El polvo, separado como lodo, debe ser tratado para su reutilización o desecho.</li> <li>• Para instalación en azotea, se requieren estructuras de apoyo.</li> <li>• Para instalación al aire libre se requiere protección contra heladas (según el clima).</li> <li>• Material de relleno sensible a obstrucción por polvo o grasa.</li> <li>• Potencial de corrosión</li> <li>• Las partículas recogidas pueden estar contaminadas y pueden no ser reciclables.</li> <li>• El gas de escape puede requerir recalentamiento para evitar el penacho (vapor) visible.</li> </ul>
<p><u>Lavadores de lecho relleno</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caída de presión de baja a media.</li> <li>• Los lavadores de plástico y de plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) pueden operar en atmósferas altamente corrosivas.</li> <li>• Alta transferencia de materia.</li> <li>• Permite recoger gases y partículas.</li> <li>• Bajo coste de inversión.</li> <li>• Bajos requisitos de espacio.</li> </ul>	<p><u>Lavadores de lecho relleno</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendencia a taponamiento del lecho.</li> <li>• Costes de mantenimiento relativamente altos, en comparación con otras técnicas de lavado.</li> <li>• Si se utiliza una construcción de FRP, es sensible a la temperatura.</li> <li>• Costes de mantenimiento relativamente altos.</li> </ul>

Ventajas	Desventajas
<p><u>Lavador de columna de platos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Flexibilidad de condiciones operativas (variación de caudal).</li> <li>Alta versatilidad en caso de bajo caudal de gas, ya que también puede operar con bajo caudal de líquido.</li> <li>Ofrece absorción de gas y recogida de polvo en una sola unidad.</li> <li>Mejora el contacto gas-lechada para eliminación de SO<sub>2</sub>.</li> <li>Fácil mantenimiento y operación.</li> </ul>	<p><u>Lavador de columna de platos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Acumulación de polvo alrededor de las válvulas y/o en los platos</li> <li>Mayores costes que otros lavadores húmedos.</li> </ul>
<p><u>Torres de rociado</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baja caída de presión.</li> <li>Las construcciones de FRP pueden operar en atmósferas muy corrosivas.</li> <li>Bajo consumo de energía</li> <li>Bajos costes de inversión.</li> <li>Relativamente libre de obstrucciones.</li> <li>Requisitos de espacio relativamente pequeños.</li> <li>Permite recoger gases y partículas.</li> </ul>	<p><u>Torres de rociado</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baja eficacia de transferencia de masa.</li> <li>Baja eficacia de eliminación de partículas finas.</li> <li>Si se utiliza una construcción de FRP, es sensible a la temperatura.</li> <li>Altos costes operativos.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia <sup>a</sup> [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ] <sup>b</sup>	Comentarios
Alcoholes	hasta 95 <sup>1</sup>	hasta 100 <sup>1</sup>	agua
Fluoruro de hidrógeno	>99 <sup>1</sup>	<50 <sup>1</sup>	agua
		<1 <sup>1</sup>	alcalino
Cloruro de hidrógeno	>99 <sup>1</sup>	<50 <sup>1</sup>	agua
		<10 <sup>1</sup>	alcalino
Acido crómico		<0,1-1 <sup>1</sup>	agua
Amoniaco	>99,9 <sup>c</sup>	<1 <sup>1</sup>	ácido
Aminas	>99 <sup>1</sup>	<1 <sup>1</sup>	ácido
Dióxido de azufre	80-99 <sup>d,2</sup>	<40 <sup>1</sup>	alcalino
Fenoles	>90		alcalino
Sulfuro de hidrógeno	90-95 <sup>1</sup>		alcalino
	80->99 <sup>h,5</sup>		
Compuestos inorgánicos	95-99 <sup>d,f,h,2,3,5</sup>		
COV	50-95 <sup>d,e,2</sup>		
	70->99 <sup>f,g,3,4</sup>		

<sup>a</sup> alta concentración de alimentación

<sup>b</sup> baja concentración de alimentación

<sup>c</sup> concentración de alimentación 25 g/Nm<sup>3</sup> amoniaco, concentración efluente <10 mg/Nm<sup>3</sup>

<sup>d</sup> torre de rociado, varios reactivos

<sup>e</sup> puede alcanzar > 99 %

<sup>f</sup> lavador de lecho relleno

<sup>g</sup> lavador de relleno fibroso

<sup>h</sup> lavador de columna de platos

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

<sup>2</sup> [cww/tm/114]

<sup>3</sup> [cww/tm/113]

<sup>4</sup> [cww/tm/110]

<sup>5</sup> [cww/tm/111]

### Efectos sobre otros medios

Los principales servicios y consumibles requeridos para sistemas de absorción son [cww/tm/71]:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Agua de lavado		
Agentes químicos (ácidos, bases, oxidantes)		
Instalaciones de desorción: Agua de refrigeración para el condensador, Vapor para desorción al vapor	30-40 kg/1000 Nm <sup>3</sup> gas residual (vapor a 120 °C) <sup>1</sup>	
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	0,2-1 <sup>2</sup>	Depende de la aplicación, desorción no incluida
Caída de presión [kPa]	0,4-0,8 <sup>1</sup>	Depende de la aplicación
<sup>1</sup> [cww/tm/71]		
<sup>2</sup> [cww/tm/70]		

Normalmente se requiere una purificación adicional del líquido recirculante, según su degradación (ej. contenido de sólidos insolubles) y pérdidas por evaporación.

El lavado genera agua residual que requiere tratamiento, si el líquido de lavado con su contenido no se utiliza de otro modo. El tratamiento adecuado es la desorción del contenido de gas residual, que se realiza en todo caso cuando la finalidad del lavado es la recuperación del gas. La desorción puede causar emisiones a la atmósfera. También hay que tener en cuenta el consumo de energía.

### Monitorización [cww/tm/79]

La eficacia de eliminación del sistema de lavado se determina monitorizando la concentración de los contaminantes gaseosos antes y después. El dióxido de azufre se suele monitorizar con analizadores de infrarrojos; para los haluros de hidrógeno se utilizan métodos químicos húmedos. Los COV se miden como carbono total, excluyendo partículas, utilizando un detector de ionización de llama. Puede hacerse un análisis cualitativo de las emisiones si se toman muestras de gas en puntos de muestreo seleccionados y son analizados subsiguientemente mediante CG/EM. Las eficacias de eliminación de emisiones olorosas se determinan tomando muestras de gas en puntos de muestreo seleccionados y analizándolas posteriormente por olfatometría.

Hay que realizar mediciones rutinarias adicionales de:

- La caída de presión a través del lavador, como medio para descubrir anomalías operativas que pueden requerir mantenimiento.
- El caudal de agua de reposición del lavador.
- El caudal de agua reciclada.
- El caudal de reactivo.
- En algunos casos, pH, temperatura, conductividad eléctrica y potencial redox (ORP).

Los lavadores húmedos necesitan inspección regular para identificar cualquier deterioro que pueda producirse en la planta, como corrosión o bloqueos. El acceso al lavador debe ser fácil. Es esencial que los fallos operativos sean detectados con rapidez, y debe aplicarse instrumentación adecuada con alarmas en la ventilación de salida de la planta de absorción para asegurar que se dé aviso si el equipo falla.

Se suele emplear un sistema de controlador lógico programable (PLC) o sistema informático digital (DCS) para la gestión automática del funcionamiento de la planta (ej. operación a valores fijados de pH y ORP, optimizados para una elevada absorción de gas). Hay disponible un programa que puede predecir los parámetros operativos óptimos, es decir, los requisitos de circulación y vapor, para una determinada concentración de gas residual. Esto es particularmente útil cuando los cambios en el caudal de gas y/o la concentración de disolventes puedan ser significativos.

La intervención de los operarios de la planta es mínima, siempre que se disponga de parada automática y de las alarmas necesarias en el sistema de control, como de bajo caudal de líquido o pérdida de vacío.

Los requisitos de mantenimiento suelen ser bajos. Se limitan principalmente a chequeos rutinarios del sistema de desorción, ya que la calidad de desorción es un factor clave en la eficacia de la absorción, y de los equipos con partes móviles [cww/tm/71].

### Economía

Tipo de costes	Costes				
	Relleno fibroso	Lecho móvil	Lecho relleno	Columna de platos	Torres de rociado
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	600-1800 USD <sup>1</sup>		6200-33500 USD <sup>2</sup>	1300-7000 USD <sup>3</sup>	500-2200 USD <sup>4</sup>
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	1000-21100 USD <sup>1</sup>		9300-42300 USD <sup>2</sup>	1500-42000 USD <sup>3</sup>	800-28100 USD <sup>4</sup>
Rentabilidad [por tonelada y año de contaminante controlado]	40-710 USD <sup>1</sup>		0,24-1,09 USD <sup>2</sup>	51-1300 USD <sup>3</sup>	28-940 USD <sup>4</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/110] <sup>2</sup> [cww/tm/113] <sup>3</sup> [cww/tm/111] <sup>4</sup> [cww/tm/114]					

Factores de costes [cww/tm/71]:

Factores	Influencia / resultados
Caudal de emisión	Tamaño global del sistema, requisitos de servicios
Eficacia de recuperación requerida	Altura de la columna de lavado
Eficacia de absorción de disolvente	Velocidad de recirculación del líquido de lavado y por tanto requisitos de bombeo.
Tipo de disolvente.	Elección del líquido de lavado.
Solubilidad del disolvente	Complejidad de las operaciones de separación posteriores (directamente proporcional a la solubilidad), consumo energético de las técnicas de separación (directamente proporcional)
Mezclas de disolventes	Complejidad de las operaciones de separación posteriores (directamente proporcional), consumo energético de las técnicas de separación (directamente proporcional)
Carga de disolventes	Velocidad de desorción y requisitos correspondientes de servicios como vapor
Degradación del líquido de lavado	Alta velocidad de purga del líquido gastado y por tanto elevados costes de tratamiento y/o desecho
Facilidad de desorción del disolvente	Temperatura de desorción

Aplicabilidad en instalaciones existentes [cww/tm/71]:

Relleno fibroso	Lecho móvil	Lecho relleno	Columna platos	Torres rociado
Siempre que se disponga de suficiente espacio, los sistemas de absorción pueden aplicarse fácilmente a instalaciones existentes. También es posible realizar modernizaciones de sistemas de absorción existentes con rellenos y/o líquidos mejor estructurados, a fin de mejorar el funcionamiento del equipo de recuperación.				

### 3.5.2. Operaciones y procesos de eliminación para COV y compuestos inorgánicos

#### 3.5.2.1. Biofiltración

##### Descripción

La corriente de gas residual pasa a través de un lecho de material orgánico, como turba, brezo, compost o un material inerte como arcilla, carbón vegetal o poliuretano, donde es oxidado biológicamente por microorganismos naturales a dióxido de carbono, agua y biomasa.

En la Figura 3.61 [cww/tm/79] se muestra un biofiltro.

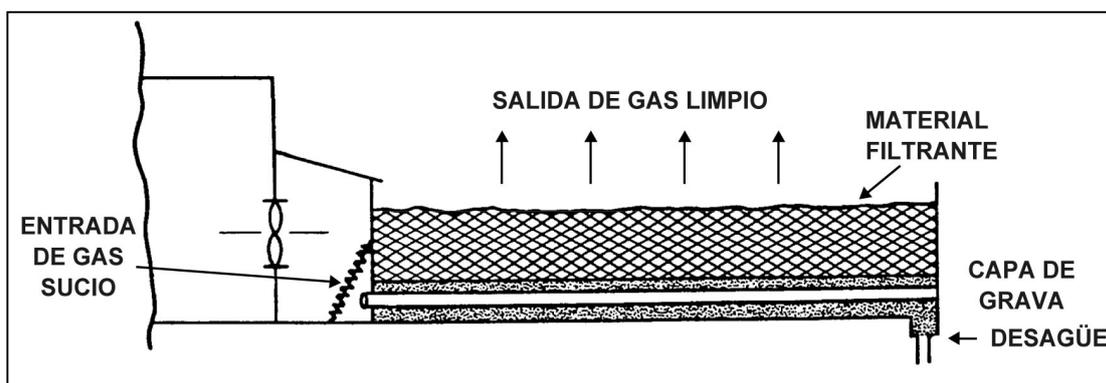


Figura 3.61. Estructura de un biofiltro

Los biofiltros pueden dividirse en:

- Biofiltros abiertos
- Biofiltros cerrados.

Un biofiltro abierto consiste en una capa de material biofiltrante poroso con una red de conductos subyacentes a través de los cuales se inyecta aire en el filtro. Estos filtros requieren un largo tiempo de residencia y por lo tanto tienden a ser grandes. Pueden usarse para caudales de gas bajos. Una alternativa son los biofiltros de varios niveles, en los que varias capas apiladas reducen la necesidad de disponer de una superficie grande. En zonas con clima frío (heladas), la idoneidad de los biofiltros se ve restringida.

Un biofiltro cerrado consiste en una capa de material que soporta una población microbiana adecuada y está colocada bajo un sistema de distribución que suministra la corriente de gas contaminado al filtro de manera uniforme. La corriente de gas es impulsada al filtro por ventiladores eléctricos. El flujo de gas es de arriba abajo o viceversa. Los materiales de construcción del ventilador, sistema de ventilación y biofiltro deben minimizar los efectos de los gases residuales corrosivos, exceso de condensado y polvo / lodo.

La mayoría de biofiltros en funcionamiento son filtros de lecho abierto, que son menos caros que los biofiltros cerrados pero son menos eficaces. Puede suponerse que, en muchos casos, los sistemas de filtro abierto

no permiten una eliminación suficiente de emisiones y no suelen tener las características tecnológicas para conseguir una reducción completa de COV. Los biofiltros cerrados de alta tecnología pueden mejorarse para conseguir una reducción de una amplia gama de compuestos xenobióticos.

Los microorganismos están encerrados en un lecho fijo. La altura del material de filtro es de 0,5 a 1,5 m, con un máximo de dos o tres capas. La carga específica del lecho del filtro está entre 100 y 500 Nm<sup>3</sup>/h por m<sup>2</sup> de superficie del filtro. El balance de humedad es normalmente muy crítico (se requiere una humedad relativa del gas de alrededor del 95 % o más). Está regulado por un humidificador preconectado o un lavador de gas, a veces en combinación con humedecimiento del material de filtro. La humedad relativa del material del filtro debe estar por debajo del 60 % para evitar obstrucciones. El dispositivo humectante necesita protección contra heladas en regiones en las que se dan con frecuencia temperaturas inferiores a 0 °C.

Para aplicación a corrientes de gas calientes (>35 °C) es necesario aplicar refrigeración, mediante mezcla con aire o introduciendo un lavador de gas o un intercambiador de calor. El lavado húmedo puede aplicarse como tratamiento previo con objeto de reducir un contenido excesivo de partículas, la carga de contaminantes y la cantidad de contaminantes no adecuados para biofiltración.

El tiempo de residencia para permitir una eliminación eficaz de, por ejemplo, el olor, depende de la concentración de contaminantes. En términos generales, debe preverse un tiempo de residencia mínimo de 30 a 45 segundos.

La calidad del material y el proceso de operación de la maquinaria del biofiltro deben ofrecer protección contra corrosión. Hay que asegurar la eliminación del agua condensada de los conductos [cww/tm/46].

En la Figura 3.62 [cww/tm/64] se muestra un típico proceso de biofiltro. Incluye un lavador húmedo como instalación de pretratamiento.

### Aplicación

La biofiltración se utiliza en la industria química y petroquímica, así como en plantas de tratamiento de aguas residuales. Es una técnica de eliminación que elimina componentes fácilmente biodegradables, como aminas, hidrocarburos, sulfuro de hidrógeno, tolueno, estireno y contaminantes olorosos. La biofiltración está bien adaptada a concentraciones bajas de contaminantes fácilmente solubles en agua. Sin embargo, normalmente no es adecuada para aguas residuales que contienen muchos contaminantes distintos y/o que cambian. Además, el metano no es eliminado, ya que el tiempo de residencia necesario sería demasiado largo para las dimensiones normales del filtro.

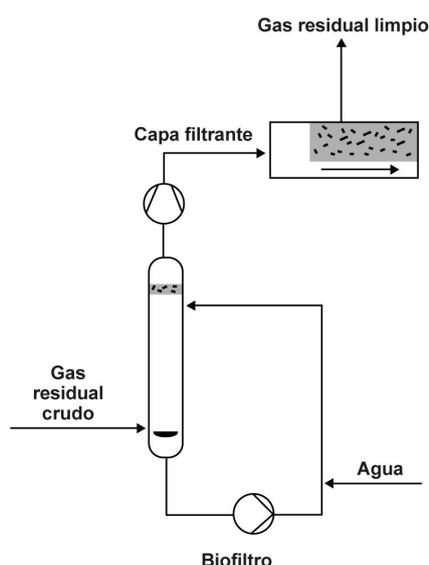


Figura 3.62. Típico proceso con biofiltro

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Caudal de gas [Nm <sup>3</sup> /h]	100–400 por m <sup>2</sup> de superficie de filtro <sup>1</sup> , hasta 200000
Temperatura [°C]	15–40 <sup>2</sup> 55, con bacterias termofílicas
Presión	Atmosférica <sup>2</sup>
Concentración de oxígeno	Cerca del nivel ambiente <sup>1</sup>
Humedad relativa [%]	>95, casi saturado de agua <sup>1</sup>
Contenido de polvo, grasas	Causa obstrucción, por lo que es necesario tratamiento previo <sup>3</sup>
Concentración de hidrocarburos [mg/Nm <sup>3</sup> ]	200–2000 <sup>2,4</sup>
Amoníaco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede reducir la eficacia de degradación de hidrocarburos</li> <li>• Puede degradarse a N<sub>2</sub>O</li> </ul>
Concentración de olor [ou/Nm <sup>3</sup> ]	20000–200000 <sup>2</sup>
Concentración de tolueno [mg/Nm <sup>3</sup> ]	20–500 <sup>2</sup>
Concentración de estireno [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50–500 <sup>2</sup>
Compuestos que contienen N, S o Cl	Pueden acidificar y desactivar el biofiltro sin capacidad intermedia, lo que aumenta la frecuencia de sustitución
Condiciones climáticas	Las heladas, lluvias y elevadas temperaturas ambiente afectan el material del filtro y reducen su eficacia
<sup>1</sup> [cww/tm/64] <sup>2</sup> [cww/tm/70] <sup>3</sup> [cww/tm/132] <sup>4</sup> comentario	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción simple</li> <li>• En combinación con adsorción y absorción es también adecuado para componentes poco solubles.</li> <li>• Alta eficacia para compuestos biodegradables, como sustancias olorosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los lechos de filtro de turba y compost secos son difíciles de volver a humedecer.</li> <li>• Diseño relativamente voluminoso.</li> <li>• Debe evitarse el envenenamiento y acidificación de la biomasa.</li> <li>• Las fluctuaciones en la corriente de gas tienen gran impacto sobre la eficacia.</li> <li>• El relleno es sensible a obstrucciones debido al polvo.</li> </ul>

### Niveles de emisión / Índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índices de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
Hidrocarburos	75–95 <sup>1</sup>	>5 <sup>1</sup>	
Tolueno	80–95 <sup>1</sup>	>5 <sup>1</sup>	
Estireno	80–90 <sup>1</sup>	>10 <sup>1</sup>	
Olor	75–95 <sup>1</sup>	>5000 ou/Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup>	Olor del biofiltro 200–500 ou/Nm <sup>3</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]			

La eficacia de la biofiltración depende fuertemente de la composición de la corriente de gas residual.

### Efectos sobre otros medios

Los principales servicios y consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Material de filtro <sup>a</sup>		
Agentes químicos (nutrientes, compuestos alcalinos y ácidos para corrección del pH)		
Agua	5 l/1000 Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup>	
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	<1 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	0,5–2 <sup>1</sup>	

<sup>a</sup> la vida útil del material de filtro depende de lo afectada que resulte por acidificación, envenenamiento, agotamiento, típicamente no es de más de un año  
<sup>1</sup> [cww/tm/70]

En biofiltros abiertos, el material de filtro debe purificarse regularmente y desecharse periódicamente. En el lecho del filtro puede producirse la canalización del gas residual, reduciendo la eficacia del biofiltro. Dado que no todos los COV enviados a través del biofiltro son biodegradables, puede haber material de filtro cargado que contenga contaminantes peligrosos que deba ser desechado como residuo (incineración). El agua percolada liberada por el material de filtro puede contener residuos orgánicos que deban desecharse. En los filtros cerrados normalmente se recircula el lixiviado.

### Monitorización

El balance de humedad debe examinarse cuidadosamente, ya que es un elemento crítico para el funcionamiento preciso de los biofiltros.

La eficacia puede determinarse evaluando los gases de entrada y salida, el método apropiado depende de los contaminantes a eliminar. Se requiere el control regular del pH del agua percolada liberada por el material de filtro.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión	5000–20000 EUR <sup>1</sup> [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	
	4000–180000 ATS <sup>2</sup> [por m <sup>3</sup> de filtro]	
Costes operativos <sup>a</sup>	10000–20000 ATS <sup>2</sup>	
mano de obra		1 h por semana por filtro + 2 días por año <sup>1</sup>
servicios		
consumibles	200 EUR por m <sup>3</sup> de material de filtro <sup>1</sup>	
Mantenimiento <sup>b</sup>	5000–300000 ATS <sup>2</sup> < 1000 ATS <sup>c 2</sup>	

<sup>a</sup> por año por 1000 Nm<sup>3</sup>/h de capacidad  
<sup>b</sup> por año  
<sup>c</sup> por año por 1000 Nm<sup>3</sup>/h de capacidad  
<sup>1</sup> [cww/tm/70]  
<sup>2</sup> [cww/tm/46]

Los costes de operación y mantenimiento son bajos, ya que no se necesitan combustibles o compuestos químicos.

Los parámetros relevantes para los costes son:

- El caudal del gas residual
- La concentración de contaminante en la corriente de gas
- El tipo de componentes en la corriente de gas
- La eficacia requerida
- El carácter del material de filtro.

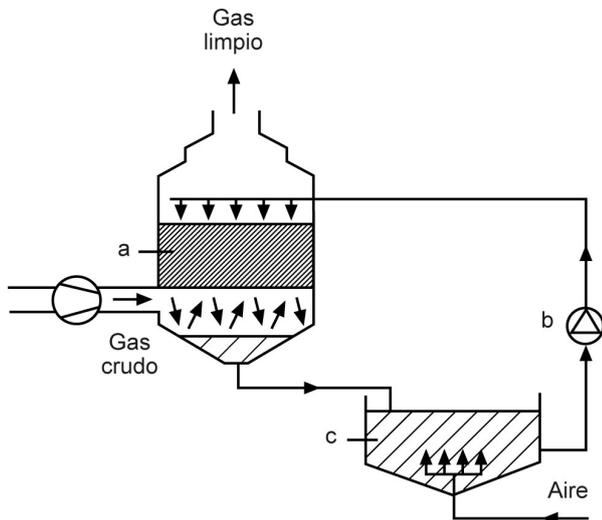
### 3.5.2.2. Lavado biológico

#### Descripción

El lavado biológico combina el lavado húmedo de gases (absorción) (ver Sección 3.5.1.4) y biodegradación; el agua de lavado contiene una población de microbios adecuados para oxidar los componentes nocivos del gas. Los microbios están suspendidos en agua. Por lo tanto, las condiciones para utilizar los biolavadores son:

- Debe ser posible lavar los componentes del gas residual.
- Los componentes lavados deben ser biodegradables en condiciones aerobias.

En la Figura 3.63 [cww/tm/132] se muestra un biolavador.

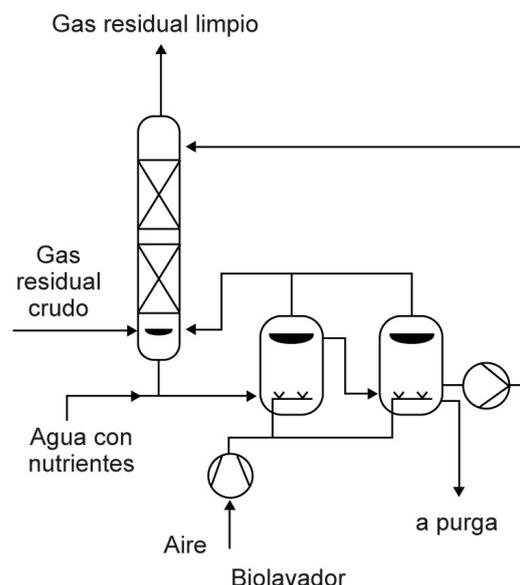


**Figura 3.63. Lavador biológico típico**  
**(a) Absorbedor,**  
**(b) Circulación de lodo activado,**  
**(c) Tanque de activación**

El diseño del biorreactor se basa en un sistema de lodo activado o de lodo sobre un portador (detalles en la Sección 3.3.4.3.1). La mezcla de lodo y agua se recircula en el reactor. Los contaminantes absorbidos son degradados en tanques de lodo aireados. La columna de lavado debe estar diseñada de modo que haya un tiempo de contacto de más o menos un segundo, según los contaminantes.

Los biolavadores suelen estar inoculados con lodo activado de, por ejemplo, una planta de tratamiento biológico de aguas residuales. Según la composición del gas residual, la eficacia del biolavador sólo alcanzará el nivel deseado al cabo de unas semanas de adaptación. La inoculación con cultivos preparados en fermentadores se aplica particularmente a contaminantes que contienen azufre (mercaptanos, sulfuro de hidrógeno, sulfuro de dimetilo, etc.) o cloro (metanos o etanos clorados) [cww/tm/70].

En la Figura 3.64 [cww/tm/64] se muestra un proceso típico de biolavador.



**Figura 3.64. Proceso típico de lavado biológico**

La evaporación, acompañada de mineralización y dosificación de nutrientes y/o agentes de neutralización, causa normalmente un aumento del contenido de sales del absorbente. Este efecto puede inhibir el proceso biológico, aunque se ha observado que pueden mantenerse velocidades de biodegradación estables, incluso con concentraciones de sales correspondientes a una conductividad de hasta 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [cww/tm/53].

Las medidas para evitar la formación excesiva de sales son, por ejemplo:

- Retirara adecuada del absorbente y adición simultánea de agua fresca.
- Operación con agua blanda.
- Saturación con vapor del gas residual corriente arriba.

Los compuestos que contienen azufre, cloro y/o nitrógeno inducen acidificación (formación de ácido sulfúrico, clorhídrico o nítrico), que se corrige mediante control del pH.

Un tiempo de residencia del absorbente de 20-40 días (máximo) ha demostrado ser apropiado.

### Aplicación

El lavado biológico se utiliza en la industria química y petroquímica, así como en plantas de tratamiento de aguas residuales. Se trata de una técnica de eliminación que elimina componentes fácilmente biodegradables, como amoníaco, aminas, hidrocarburos, sulfuro de hidrógeno, tolueno, estireno y contaminantes olorosos. El lavado biológico está bien adaptado a bajas concentraciones de disolventes fácilmente solubles en agua.

Las aplicaciones típicas y probadas de los biolavadores se ilustran en la Tabla 3.14 [cww/tm/53].

**Tabla 3.14.**  
**Aplicaciones típicas del lavado biológico**

	Eliminación de olores	Hidrocarburos alifáticos	Hidrocarburos aromáticos	Compuestos oxigenados	Compuestos de azufre	Compuestos nitrogenados	Hidrocarburos halogenados	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	Aceites etéreos
Tanques de lodo activado de plantas de tratamiento biológico	X	X	X	X	X	X		X	X	
Producción de enzimas	X			X						
Producción de olorantes	X		X	X						X
Industria del caucho	X				X			X		
Acondicionamiento de residuos de pintura	X	X	X	X		X				
Producción de metionina	X				X					
Producción de polímeros	X			X						
Gases de sumideros de residuos peligrosos	X	X	X	X		X		X	X	

La aplicabilidad del lavado biológico a grupos de compuestos es [cww/tm/53]:

Muy adecuado	Adecuado	Inadecuado
<p><u>Alcoholes</u> (metanol, etanol, butanol, glicol, diglicol, butil glicol)</p> <p><u>Aldehídos y cetonas</u> (formaldehído, acetaldehído, acetona, MIBK)</p> <p><u>Ácidos carboxílicos y sus ésteres</u> (ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, acetato de n-butilo, acetato de etilo, metacrilato de metilo, éster del ácido glicólico)</p> <p><u>Fenoles</u> (fenol, cresol)</p> <p>Compuestos heterocíclicos con azufre</p> <p>Mercaptanos</p> <p>Aminas</p> <p>Compuestos heterocíclicos con nitrógeno</p> <p>Clorofenoles</p> <p>Sulfuro de hidrógeno</p>	<p>Naftaleno</p> <p>Tioéteres (sulfuros)</p> <p>Amoniaco</p>	<p>Hidrocarburos alifáticos (metano, pentano, hexano, hidrocarburos de cadena larga, acetileno, etc., ciclohexano)</p> <p><u>Hidrocarburos aromáticos</u> (benceno, tolueno, xileno, estireno), excepto naftaleno</p> <p><u>Éteres</u> (tetrahidrofurano, éter dietílico, dioxano)</p> <p>Disulfuro de carbono</p> <p>Nitrocompuestos</p> <p><u>Hidrocarburos halogenados</u> (diclorometano, tricloroeteno, percloroeteno, 1,1,1-tricloroetano, 1,2-dicloroetano, VCM), excepto clorofenoles</p>

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Caudal de gas [Nm <sup>3</sup> /h]	1000–3000 Nm <sup>3</sup> /h por m <sup>2</sup> de superficie de columna <sup>1</sup>
Temperatura [°C]	15–40 <sup>2</sup> 30–35 (óptima) <sup>3</sup>
Presión	Atmosférica <sup>2</sup>
Concentración de microorganismos	>15 g/l materia seca <sup>3</sup>
Concentración de COV en el gas residual	100–2000 mg/Nm <sup>3</sup> <sup>2,3</sup>
Concentración de amoniaco	50–200 mg/Nm <sup>3</sup> <sup>2</sup>
Concentración de olor [ou/Nm <sup>3</sup> ]	>20000 <sup>2</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/64]	
<sup>2</sup> [cww/tm/70]	
<sup>3</sup> [cww/tm/53]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Es posible eliminar altas concentraciones debido a una alta conversión microbiana.</li> <li>También adecuado para altas concentraciones de compuestos que contienen azufre, cloro y/o nitrógeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La biomasa se acumula, debe desecharse como residuo y puede producir el bloqueo del agua circulante.</li> <li>Los componentes poco solubles son más difíciles de eliminar.</li> <li>Las fluctuaciones, por ejemplo cambios de concentraciones, en la corriente de gas tienen un gran impacto sobre la eficacia.</li> <li>El agua percolada requiere tratamiento.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índices de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
COV	80–90 <sup>1</sup>		
Amoniaco	80–95 <sup>1</sup>		
Olor	70–80 <sup>1</sup>		
<sup>1</sup> [cww/tm/70]			

### Efectos sobre otros medios

Los principales servicios y consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Agentes químicos (nutrientes, compuestos alcalinos para corrección del pH)		
Agua		
Lodo activado		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	0,2–0,5 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	0,2–0,5 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

Debido a las actividades biológicas en el biolavador, la concentración de sales en el agua de circulación aumenta y por lo tanto debe evacuarse de vez en cuando. Este efluente de agua residual debe tratarse o desecharse de algún modo.

El exceso de lodo activado debe desecharse, según los contaminantes o productos de degradación, por ejemplo mediante incineración.

Ocasionalmente puede desprenderse olor de los tanques que almacenan el agua de circulación, por lo que la recogida del aire de escape y su conducción subsiguiente a una instalación de tratamiento puede ser obligatoria.

### Monitorización

La eficacia se determina por análisis químico o midiendo el olor de los gases de entrada y salida. Se requiere el control del pH del proceso.

### Economía

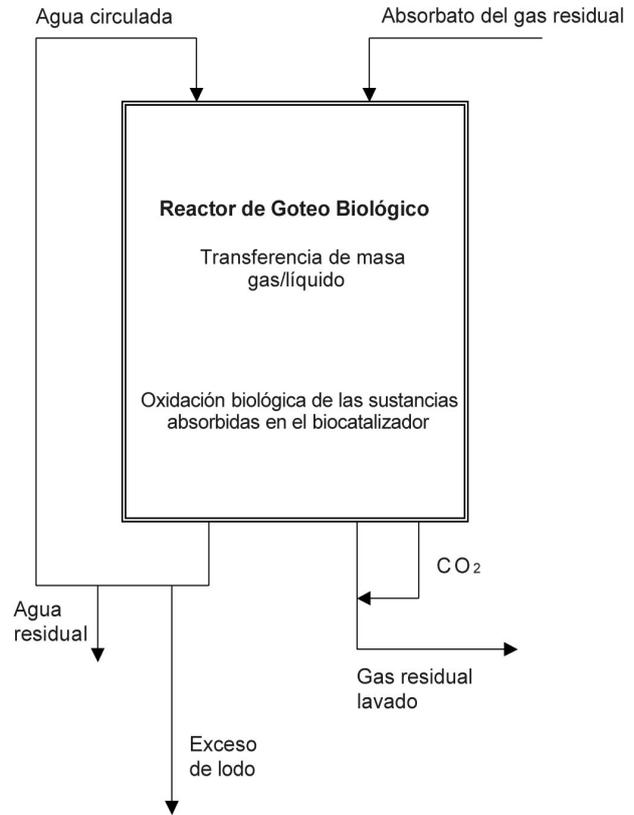
Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	EUR 5000–15000 <sup>1</sup>	
Costes operativos mano de obra servicios consumibles		½ día por semana <sup>1</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

3.5.2.3. Goteo biológico

**Descripción**

El goteo biológico funciona con condiciones similares al lavado biológico. En contraste con el lavado biológico, los microbios están fijos sobre elementos de soporte. El principio del proceso se muestra en la Figura 3.65.

En un reactor con lecho de goteo biológico, se circula una fase acuosa de forma continua a través de un lecho de material inerte. Este relleno puede ser de material voluminoso inerte, como anillos, semicírculos, etc. o de rellenos estructurados. Al seleccionar el material de relleno, es necesario en cada caso individual asegurar que, incluso en el caso de una formación de exceso de lodo previsible, el reactor no vaya a quedar saturado a largo plazo. Las propiedades superficiales deben ser tales que el biofilm se adhiera firmemente. Los contaminantes del gas residual y el oxígeno son absorbidos por la fase acuosa y transportados al biofilm, donde se produce la transformación biológica. La calidad de la transferencia de materia del gas a la fase líquida y la eficacia de eliminación del reactor dependen esencialmente de la superficie mojada del relleno. Para conseguir resultados de eliminación óptimos, es decir, para aumentar al máximo la superficie mojada, la fase líquida debe distribuirse uniformemente por la superficie del biofilm [cww/tm/53].



**Figura 3.65. Diagrama de flujo del proceso de goteo biológico**

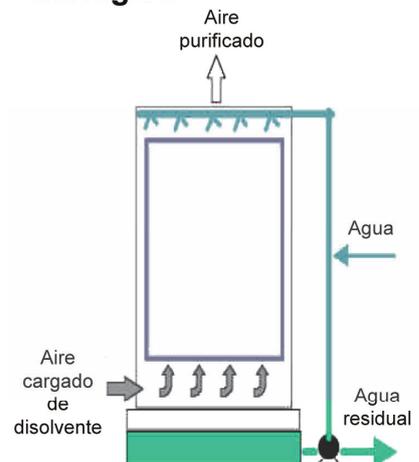
La inmovilización de la biomasa y la formación del biofilm son generalmente un proceso controlado naturalmente que comienza tras la inoculación de la fase acuosa. La fase líquida en circulación continua adopta la función de suministrar a la población microbiana los nutrientes necesarios. Al mismo tiempo, el exceso de lodo activado y los productos de reacción que también pueden ser inhibidores, como por ejemplo cloruro de hidrógeno durante la degradación de diclorometano, son lavados fuera del reactor. En la fase líquida deben controlarse las condiciones esenciales como pH, nutrientes y acumulación de sales [cww/tm/53].

Al igual que en el lavado biológico, se produce un aumento del contenido de sal en el absorbente. Las medidas para evitar un exceso de formación de sales son, por ejemplo:

- La eliminación adecuada de absorbente y la adición simultánea de agua fresca.
- La operación con agua blanda.
- La saturación con vapor del gas residual corriente arriba.

En la Figura 3.66 se ilustra una instalación de goteo biológico.

**Filtro de goteo biológico**



**Figura 3.66. Instalación típica de goteo biológico**

### Aplicación

La aplicación del goteo biológico es comparable a la del lavado biológico. Hay ligeras diferencias en cuanto a los compuestos contaminantes para los que son adecuadas ambas técnicas.

La aplicabilidad del goteo biológico para los grupos de compuestos es [cww/tm/53] (compárese con la tabla correspondiente en la Sección 3.5.2.2):

Muy adecuado	Adecuado	Inadecuado
<p><u>Alcoholes</u> (metanol, etanol, butanol, glicol, diglicol, butil glicol)</p> <p><u>Aldehídos y cetonas</u> (formaldehído, acetaldehído, acetona, MIBK)</p> <p><u>Ácidos carboxílicos y sus ésteres</u> (ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, acetato de n-butilo, acetato de etilo, metacrilato de metilo, éster del ácido glicólico)</p> <p><u>Fenoles</u> (fenol, cresol)</p> <p>Mercaptanos</p> <p>Aminas</p> <p>Compuestos heterocíclicos con nitrógeno, 1-2 dicloroetano, clorofenoles</p> <p>Sulfuro de hidrógeno</p>	<p>Estireno, naftaleno</p> <p>Compuestos heterocíclicos con azufre</p> <p>Disulfuro de carbono</p> <p>Tricloroetano, VCM</p>	<p>Hidrocarburos alifáticos (metano, pentano)</p> <p>Percloroetano, 1,1,1-tricloroetano</p>

Límites y restricciones de aplicación [cww/tm/70]:

	Límites / restricciones
Temperatura [°C]	15–40 <sup>1</sup> 30–35 (óptima) <sup>2</sup>
Presión	atmosférica
Concentración de microorganismos	>15 g/l materia seca <sup>3</sup>
Concentración de COV en el gas residual [mg/Nm <sup>3</sup> ]	400–2000 <sup>1,2</sup>
Concentración de amoniaco [mg/Nm <sup>3</sup> ]	100–400 <sup>1</sup>
Concentración de olor [ou/Nm <sup>3</sup> ]	>20000 <sup>1</sup>
Concentración de sulfuro de hidrógeno [mg/Nm <sup>3</sup> ]	50–200 <sup>1</sup>
Concentración de mercaptanos [mg/Nm <sup>3</sup> ]	5–100 <sup>1</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]	
<sup>3</sup> [cww/tm/53]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodegradación de los componentes adsorbidos.</li> <li>• Adecuado para concentraciones medias de componentes acidificantes que contienen azufre, cloro y nitrógeno.</li> <li>• Son posibles pequeñas correcciones del pH.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La fluctuaciones en las condiciones de la corriente de aire de admisión tienen gran impacto sobre la eficacia.</li> <li>• Los componentes poco solubles son más difíciles de eliminar.</li> <li>• Deben evitarse las sustancias tóxicas y las concentraciones elevadas de sustancias acidificantes.</li> </ul>

Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
COV	80-95 <sup>1</sup>		
Amoniaco	80-95 <sup>1</sup>		
Olor	70-90 <sup>1</sup>		
Sulfuro de hidrógeno	80-95 <sup>1</sup>		
Mercaptanos	70-90 <sup>1</sup>		
Disulfuro de carbono	98-99 <sup>2</sup>		Concentración de alimentación 100 mg/Nm <sup>3</sup>
Estireno	80 <sup>2</sup>		Concentración de alimentación unos 160 mg/Nm <sup>3</sup>
VCM	99 <sup>2</sup>		Concentración de alimentación hasta 100 mg/Nm <sup>3</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]			
<sup>2</sup> [cww/tm/53]			

Efectos sobre otros medios

Los principales servicios y consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Agentes químicos (nutrientes, compuestos alcalinos para corrección del pH)		
Agua		
Lodo activado		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	<1 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	0,1-1 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

Debido a las actividades biológicas en el sistema de goteo biológico, la concentraciones de sales en el agua de circulación aumentan y por lo tanto debe evacuarse de vez en cuando. Este efluente de agua residual debe tratarse o desecharse de algún modo.

El exceso de lodo activado debe desecharse, según los contaminantes o productos de degradación, por ejemplo mediante incineración.

Ocasionalmente puede desprenderse olor de los tanques que almacenan el agua de circulación, por lo que la recogida del aire de escape y su conducción subsiguiente a una instalación de tratamiento puede ser obligatoria.

Monitorización

La eficacia del sistema de goteo biológico se determina por las concentraciones de entrada y salida del gas. La composición del agua de absorción debe monitorizarse mediante la medición continua de los siguientes parámetros [cww/tm/53]:

- pH
- Temperatura
- Concentración de oxígeno
- Conductividad.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	EUR 5000–20000 <sup>1</sup>	
Costes operativos mano de obra servicios consumibles		½ día por semana <sup>1</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

#### 3.5.2.4. Oxidación térmica

##### Descripción

La oxidación térmica es el proceso de oxidación de los gases y odorantes combustibles de una corriente de gas residual, calentando una mezcla de contaminantes con aire u oxígeno por encima de su punto de inflamación espontánea en un horno y manteniéndola a temperatura elevada durante suficiente tiempo para completar la combustión a dióxido de carbono y agua. El tiempo, la temperatura (unos 200–400 °C por encima de la inflamación espontánea), la turbulencia (para mezcla) y la disponibilidad de oxígeno son factores que influyen todos ellos en la velocidad y la eficacia del proceso de combustión. Estos factores proporcionan los parámetros de diseño básicos para los sistemas de oxidación de COV. Cuando hay presentes COV halogenados, pueden requerirse condiciones especiales para suprimir la generación (o síntesis de novo) de dioxinas, aunque normalmente hay sólo una formación insignificante de dioxinas en la combustión de corrientes residuales gaseosas:

- Tiempo de residencia  $\geq 1$  s [cww/tm/118 y 120]
- Temperatura  $\geq 1100$  °C [cww/tm/118 y 120]
- Contenido de oxígeno  $> 3$  %
- Enfriamiento del gas de combustión después del incinerador para pasar rápido por la “ventana de recombinación” de dioxinas.

Hay que disponer de instalaciones adicionales, como lavadores alcalinos, para eliminar los haluros de hidrógeno.

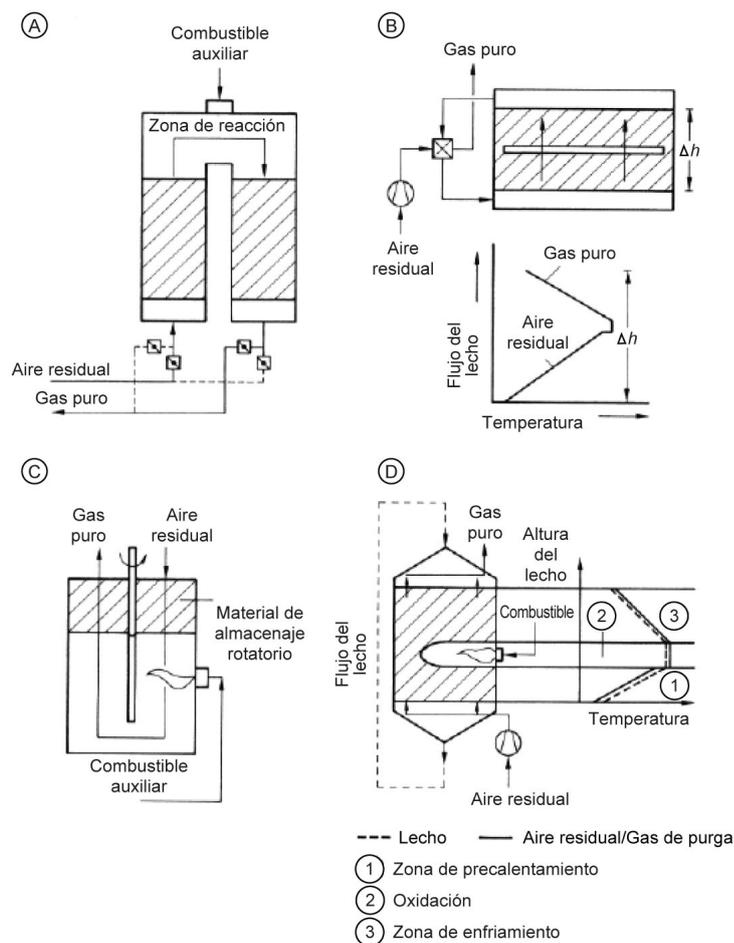
Se utilizan varios tipos de oxidadores térmicos:

- El oxidador térmico directo, compuesto por una cámara de combustión y que no incluye recuperación de calor del aire de escape.
- El oxidador térmico regenerativo, que sigue los pasos siguientes [cww/tm/132]:
  - o La corriente de gas de escape entra en el oxidador a través de la entrada común y pasa a una cámara regenerativa a través de una válvula de mariposa.
  - o Luego pasa a través de una matriz cerámica de intercambio de calor, que eleva la temperatura del gas hasta cerca de la temperatura de oxidación.
  - o A continuación entra en la cámara de combustión, que es mantenida a unos 800 °C por quemadores, y el calor liberado reduce el consumo de combustible de los quemadores.
  - o Posteriormente sale de la cámara de combustión a través de una segunda matriz de intercambio de calor, transfiriendo su energía térmica para su reutilización en el precalentamiento del siguiente ciclo.
  - o La corriente de gas limpia es liberada a través de una válvula de salida a evacuación.

Debido a la temperatura relativamente alta en el espacio de combustión, el gran exceso de aire y la baja influencia de la llama, sólo se forman pequeñas cantidades de monóxido de carbono y NO<sub>x</sub>.

Este sistema es particularmente adecuado para corrientes de gas residual de caudales comparativamente altos (hasta 200 Nm<sup>3</sup>/s). Normalmente se consigue una recuperación de calor del 90–97 % (precalentamiento del gas residual) [cww/tm/132].

En la Figura 3.67 [cww/tm/132] se muestran esquemas de sistemas de oxidación térmica regenerativos:



**Figura 3.67: Esquemas de varios sistemas de combustión regenerativos**  
**A) Regenerador de lecho fijo, B) Combu-Cambiador, C) Regenerador de Ljungstrom, D) Regenerador de lecho móvil**

- El oxidador térmico regenerativo, compuesto de una cámara de combustión, el precalentador del gas residual y, si procede, un segundo intercambiador de calor para recuperación de energía, con transferencia continua de calor al precalentador. Este sistema es particularmente adecuado para corrientes de gases residuales de caudales comparativamente bajos (<14 Nm<sup>3</sup>/s). Normalmente se consigue una recuperación de calor del 50–80 % [cww/tm/132]
- Motores y/o calderas de vapor a gas [cww/tm/133], con una recuperación de energía del 57–67 %. El gas residual se quema en el motor, si es necesario se agrega gas natural como combustible de apoyo. Generadores corriente abajo producen electricidad. El motor contiene un convertidor catalítico, especialmente para oxidar el monóxido de carbono de la corriente de gas. El motor va acoplado a una caldera de vapor para utilizar el calor residual del gas de escape para la producción de vapor. El agua de alimentación de la caldera es precalentada por el agua de refrigeración del motor. Con temperaturas de combustión bajas, la formación de NO<sub>x</sub> es baja. El gas de escape que sale del motor a gas es conducido sobre catalizadores de oxidación para reducir el contenido de monóxido de carbono.

Los criterios de diseño para un sistema oxidador térmico dependen principalmente de la naturaleza de la corriente de gas residual, que determina las condiciones de combustión. Algunos de los elementos más importantes son:

- Los quemadores  
En la Tabla 3.15 [cww/tm/79] se describen algunos tipos de quemadores.

**Tabla 3.15.**  
**Tipos de quemadores**

Quemador	Características
Quemador distribuido	Ofrece una mezcla mucho mejor del combustible y del aire de combustión, así como de los gases calientes con el aire de derivación. Esto produce llamas cortas y por lo tanto permite un tiempo de residencia más largo. No obstante, sólo pueden usarse gases limpios y combustibles gaseosos. Hay un margen de regulación limitado (relación entre la potencia máxima y mínima), y puede requerirse aire de combustión con un alto contenido en oxígeno.
Quemador de fuente única	Es menos caro que los quemadores distribuidos.
Quemador con premezcla	Proporciona una combustión eficaz, pero sólo acepta combustible gaseoso y aire limpio.  Acepta combustible líquido o gaseoso y aire limpio o sucio.
Quemador por difusión	
Quemador de torbellino	Ofrece una combustión eficaz y una llama corta, pero se necesita un ventilador capaz de suministrar una presión relativa de agua de 500 mm, tiene un bajo margen de regulación y tendencia al ensuciamiento.
Quemador de aceite	Proporciona llamas más largas, es más caro, requiere más mantenimiento, tiene un margen de regulación más limitado y generalmente no es tan limpio como un quemador de gas.

- *La sección de mezcla* [cww/tm/79]  
Puede conseguirse una buena mezcla mediante:
  - Difusión natural entre corrientes turbulentas.
  - Impacto de las corrientes de gas a un cierto ángulo.
  - Cambios en la dirección del flujo, esquinas redondeadas o deflectores de paso.
- *La cámara de combustión* [cww/tm/79]  
Las condiciones para el dimensionamiento de la cámara de combustión son:
  - Su dimensionamiento debe permitir flujo turbulento.
  - Debe ser bastante grande para aceptar la llama sin enfriamiento.
  - Su longitud viene determinada por la longitud de la llama más la longitud necesaria para conseguir la mezcla.
  - Debe ser resistente a la temperatura y a la corrosión.
  - Debe soportar expansión y contracción frecuentes.
- *El tratamiento previo del gas residual* [cww/tm/79]  
Cuando es necesario el tratamiento previo del gas antes de entrar en el oxidador térmico, hay que:
  - Condensar el vapor de agua de un gas residual húmedo.
  - Eliminar los contaminantes sólidos y líquidos.
  - Concentrar el gas (ej. mediante adsorción sobre GAC o zeolita y desorción subsiguiente) para reducir el volumen de gas total a tratar por el oxidador.
  - Precalentamiento, que reduce los requisitos de combustible.
- *El equipo de seguridad* [cww/tm/79]  
Los dispositivos de seguridad necesarios son:
  - Protección contra retroceso de llama mediante dispositivos como extinguidores de llama de placas paralelas, extinguidores de llama de pantallas múltiples, y/o sellos de agua.
  - Periodo de purga del quemador en el arranque del oxidador térmico.
  - Cierre de flujos en caso de fallo de la llama.
  - Limitación de las temperaturas máximas.

### Aplicación

Los oxidadores térmicos se utilizan para reducir las emisiones de casi todas las fuentes de COV, incluidas ventilaciones de reactores, ventilaciones de destilación, operaciones con disolventes y operaciones realizadas en hornos, secadores y hornos rotatorios. Pueden manejar pequeñas fluctuaciones en caudal, pero las fluctuaciones excesivas requieren el uso de una antorcha. Su consumo de combustible puede ser alto cuando se alimentan gases residuales de baja carga, por lo que las unidades térmicas son más adecuadas para aplicaciones en procesos pequeños con cargas de COV de moderadas a altas. Los oxidadores térmicos se utilizan para controlar COV de una amplia gama de procesos industriales, como:

- Almacenaje y carga / descarga de productos de petróleo y otros líquidos orgánicos volátiles.
- Limpieza de recipientes (vagones y camiones cisterna, barcazas).
- Ventilaciones de proceso en la industria de fabricación de compuestos químicos orgánicos.
- Fabricación de pinturas.
- Recubrimientos flexibles de vinilo y uretano.
- Instalaciones de tratamiento, almacenaje y desecho de residuos peligrosos.

Límites y restricciones de aplicación [cww/tm/70]:

	Límites / Restricciones
Caudales de gas típicos [Nm <sup>3</sup> /h]	900–86000 (oxidador térmico directo y regenerativo) <sup>1,2</sup> 90–86000 (oxidador térmico recuperativo) <sup>3</sup>
Temperatura [°C]	750–1000 <sup>4</sup> 980–1200 con componentes peligrosos <sup>1,2,3</sup>
Concentración de COV en el gas residual	<25 % LEI <sup>1,2,3</sup>
Tiempos de residencia	0.5–2 <sup>5</sup> (según la temperatura)
Sustancias	No debe haber sustancias que puedan generar compuestos corrosivos cuando se utilicen calderas de vapor o motores a gas.
<sup>1</sup> [cww/tm/120]	
<sup>2</sup> [cww/tm/119]	
<sup>3</sup> [cww/tm/118]	
<sup>4</sup> [cww/tm/132]	
<sup>5</sup> [cww/tm/64]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficacia alta y constante.</li> <li>• Principio simple.</li> <li>• Operación fiable.</li> <li>• Las oxidaciones recuperativa y regenerativa tienen una alta eficacia térmica, lo que reduce el consumo de combustible adicional y por tanto la emisión de dióxido de carbono.</li> <li>• Es posible la integración en el proceso de calor residual o generación de vapor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.</li> <li>• Riesgo de formación de dioxinas, cuando se incineran compuestos clorados.</li> <li>• Se requiere tratamiento de los gases de escape para COV que contengan azufre y/o haluros.</li> <li>• Se requiere combustible adicional, al menos para la operación de arranque y la concentración de COV por debajo del punto de inflamación espontánea.</li> </ul>

Niveles de emisión / Índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]			Comentarios
	directa	regenerativa	recuperativa	
COV	98->99,9 <sup>1</sup>	95-99 <sup>2</sup>	98-100 <sup>a 3</sup>	
PM <sub>10</sub>	25-99,9 <sup>1</sup>		25-99,9 <sup>3</sup>	Productos de petróleo y carbón
	50-99,9 <sup>1</sup>		50-99,9 <sup>3</sup>	Productos químicos y relacionados
Parámetro	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]			Comentarios
	directa	regenerativa	recuperativa	
COV	<1-20 <sup>b</sup>			Contenido de oxígeno 3 % vol.

<sup>a</sup> >99,9999 %  
<sup>b</sup> niveles bajos para sustancias peligrosas, niveles altos para menos peligrosas.  
<sup>1</sup> [cww/tm/120]  
<sup>2</sup> [cww/tm/119]  
<sup>3</sup> [cww/tm/118]

La eficacia de la oxidación térmica para eliminar COV es mayor que la de la oxidación catalítica.

Efectos sobre otros medios

Los principales servicios y consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Combustible durante el arranque y condiciones no autotérmicas <sup>a</sup>		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	3-8 <sup>1,2</sup>	
Caída de presión [kPa]	1-5 <sup>1</sup>	

<sup>a</sup> rango autotérmico para COV 1-10 g/Nm<sup>3</sup><sup>1</sup>  
<sup>1</sup> [cww/tm/70]  
<sup>2</sup> [cww/tm/96]

Además de las emisiones de dióxido de carbono, en el gas efluente hay trazas de monóxido de carbono y NO<sub>x</sub>, según el contenido del gas residual crudo y el funcionamiento del oxidador térmico. El contenido de monóxido de carbono se elimina, por ejemplo mediante aplicación de un catalizador apropiado; las cantidades relevantes de NO<sub>x</sub> pueden ser sometidas a tratamiento ulterior (ver Sección 3.5.4.2). La presencia de azufre y halógenos requiere tratamiento ulterior del gas de combustión, por ejemplo mediante lavado con agua o alcalino (ver Sección 3.5.1.4) para absorber haluros de hidrógeno, inyección de cal (ver Sección 3.5.4.1) para absorber dióxido de azufre o adsorción sobre GAC (ver Sección 0) para eliminar dioxinas, si no se evita la combinación / recombinación de dioxinas durante el proceso de incineración. La presencia de compuestos organosilícicos puede causar dióxido de silicio amorfo altamente disperso que requiere eliminación mediante técnicas de filtración adecuadas. El tratamiento adicional de gases puede producir agua residual que debe tratarse asimismo, por ejemplo mediante sedimentación (ver Sección 3.3.4.1.2) o neutralización.

**Monitorización** [cww/tm/79]

Los parámetros monitorizados que causan alarma cuando se rebasan los valores fijados son:

- Temperatura de combustión
- Concentración de COV
- Concentración de monóxido de carbono
- Presión
- Alimentación de gas licuado
- Alimentación de aire comprimido.

Otro parámetro importante a monitorizar es el contenido de oxígeno del gas efluente, que proporciona información sobre las condiciones de combustión. Esto es crucial cuando se oxidan térmicamente compuestos halogenados.

La eficacia de eliminación del sistema puede determinarse monitorizando la concentración de COV y/o el olor antes y después del oxidador térmico. Los COV pueden medirse como carbono total, utilizando un detector de ionización de llama. Puede hacerse un análisis cualitativo de las emisiones tomando muestras en puntos de muestreo seleccionados y analizándolas subsiguientemente mediante CG/EM. Las eficacias de eliminación de emisiones olorosas se determinan tomando muestras en puntos de muestreo seleccionados y analizándolas subsiguientemente por olfatometría.

Los quemadores deben inspeccionarse regularmente y, si es necesario, limpiarse. Si se acumulan depósitos rápidamente, hay que tomar acciones preventivas. Puede ser necesario un tratamiento previo eficaz para limpiar el gas residual contaminado antes de que entre en el quemador. Si los depósitos son debidos a carbono, puede ser indicación del uso de una relación incorrecta entre gas residual y combustible, así como de la necesidad de comprobar los ajustes de control.

**Economía**

Tipo de costes	Costes			Comentarios
	Directa	Regenerativa	Recuperativa	
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	2800-59000 USD <sup>1</sup>	24000-89000 USD <sup>3</sup>	8900-77000 USD <sup>4</sup>	
	10000-40000 EUR <sup>2</sup>	20000-30000 EUR <sup>2</sup>	10000-50000 EUR <sup>2</sup>	
		131000-174000 FIM <sup>5</sup>		
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	24000-45000 USD <sup>1</sup>	2400-5900 USD <sup>3</sup>	2800-14800 USD <sup>4</sup>	
		6500 FIM <sup>5</sup>		
mano de obra servicios consumibles	0,5 días por semana	2 días por año		
Rentabilidad [por tonelada de combustible y año]	440-3600 USD <sup>1</sup>	110-21000 USD <sup>3</sup>	110-2200 USD <sup>4</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/120]				
<sup>2</sup> [cww/tm/70]				
<sup>3</sup> [cww/tm/119]				
<sup>4</sup> [cww/tm/118]				
<sup>5</sup> [cww/tm/96]				

Factores de costes [cww/tm/80]:

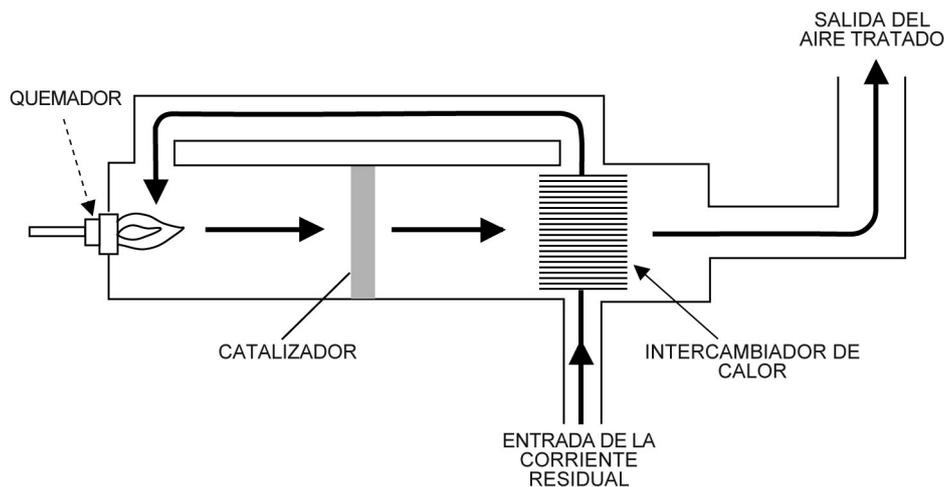
Factores	Influencia / resultados
Volumen de gases residuales a tratar.	Dimensiones de la cámara de combustión.
Contenido calorífico del gas residual.	Diseño del equipo de combustión, requisitos de combustible de apoyo.
Temperatura de combustión.	Materiales de construcción.
Instrumentación	
Opciones de recuperación de calor	
Requisitos de instalación (interior, exterior, a nivel del suelo, en azotea, etc.).	

Pueden usarse hornos rotatorios y calderas para la oxidación térmica de COV, si la temperatura y el tiempo de residencia están en el rango correcto. Esto puede ser una opción atractiva si el horno o la caldera ya están instalados in situ.

3.5.2.5. Oxidación catalítica

**Descripción**

Los oxidadores catalíticos operan de forma muy similar a los oxidadores térmicos, la principal diferencia es que el gas, tras pasar por la zona de la llama, pasa a través de un lecho de catalizador. El catalizador tiene el efecto de aumentar la velocidad de la reacción de oxidación, permitiendo la conversión a temperaturas de reacción más bajas que en las unidades de oxidación térmica. Los catalizadores, por lo tanto, permiten también el uso de oxidadores más pequeños. El principio se ilustra en la Figura 3.68 [cww/tm/79].



*Figura 3.68. Principio de oxidación catalítica*

El gas residual es calentado por quemadores auxiliares hasta unos 300–500 °C antes de entrar en el lecho de catalizador. La temperatura máxima prevista del gas de escape del catalizador es normalmente de 500–700 °C [cww/tm/116].

El método de contacto de la corriente de gas con el catalizador permite distinguir entre sistemas de oxidación. Se utilizan tanto sistemas de lecho fijo como de lecho fluidizado.

El oxidador catalítico de lecho fijo puede utilizar un catalizador monolítico o un catalizador de lecho relleno. El catalizador monolítico es un bloque sólido poroso que contiene canales paralelos sin intersecciones, alineados en la dirección del flujo de gas. Su ventaja es una atrición mínima debido a la expansión / contracción térmica durante el arranque / parada, y una menor caída de presión global. El catalizador de lecho relleno consiste en partículas que están situadas en un soporte tubular o en bandejas huecas a través de las que pasa el gas. En comparación con el catalizador monolítico, su caída de presión es inherentemente alta, y las partículas de catalizador tienden a romperse debido a la expansión térmica cuando el lecho de catalizador confinado se calienta / enfría durante el arranque / parada.

Los oxidadores de lecho catalítico tienen la ventaja de índices de transferencia de materia muy elevados, aunque la caída de presión global es algo mayor que en el catalizador monolítico. Una ventaja adicional de los lechos fluidizados es una alta transferencia de calor hacia los lados del lecho en comparación con el coeficiente normal de transferencia de calor del gas. Una ventaja adicional es su mayor tolerancia de partículas en la corriente de gas que los catalizadores de lecho fijo o monolíticos. Esto es debido a la abrasión constante de los pellets del catalizador fluidizado, que ayuda a eliminar partículas del exterior de los catalizadores de forma continua. Una desventaja es la pérdida gradual de catalizador por atrición.

Los catalizadores para la oxidación de COV son normalmente metales preciosos, como platino, paladio y rodio, sobre un soporte cerámico o metálico, o metales básicos sobre un soporte de pellets cerámicos, óxidos simples o mixtos, a menudo sobre un portador mecánicamente fuerte, como óxidos de cobre, cromo, manganeso, níquel, cobalto, etc.

Los catalizadores como cromita / alúmina, óxido de cobalto y óxido de cobre / óxido de manganeso se utilizan para la oxidación de gases que contienen compuestos clorados. Los catalizadores a base de platino se aplican en la oxidación de COV que contienen azufre, mientras en presencia de cloro que se desactivan rápidamente.

La presencia de venenos de catalizadores o agentes enmascarantes (cegado) en la corriente de gas residual, como partículas o compuestos reactivos, puede tener un impacto significativo sobre la vida útil del catalizador. El envenenamiento por cegado puede ser reversible, es decir, el recubrimiento de la superficie del catalizador por aceites o grasas reduce su eficacia, pero el recubrimiento puede quemarse al elevar la temperatura. No obstante, si hay presentes algunos compuestos químicos, el envenenamiento del catalizador se hace irreversible. Son venenos de catalizadores, por ejemplo:

- Inhibidores de acción rápida, como fósforo, bismuto, arsénico, antimonio, plomo, mercurio, que causa una pérdida irreversible de actividad catalítica a una velocidad que depende de la concentración y la temperatura.
- Inhibidores de acción lenta, como hierro, estaño o silicio, que causan una pérdida irreversible de actividad, aunque pueden tolerarse concentraciones mayores que en el caso de los inhibidores de acción rápida.
- Inhibidores reversibles, como azufre, halógenos o zinc, que causan – según el catalizador – un recubrimiento de la superficie de la superficie activa del catalizador a una velocidad que depende de la temperatura y la concentración.
- Enmascaradores superficiales, como sólidos orgánicos, que causan un recubrimiento reversible de las superficies activas.
- Erosionadores y enmascaradores superficiales, como partículas inertes, que causan el recubrimiento de las superficies activas, más la erosión del catalizador a una velocidad dependiente del tamaño de las partículas, la carga granular y la velocidad del gas [cww/tm/80].

Al igual que en la oxidación térmica, se utilizan varios tipos de oxidantes:

- El oxidador catalítico directo
- El oxidador catalítico regenerativo
- El oxidador catalítico recuperativo.

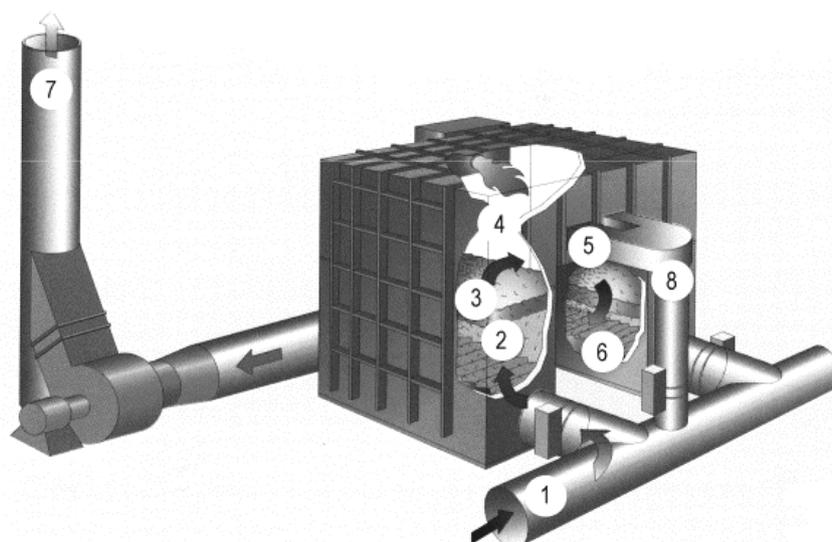
Las condiciones de operación normales para oxidadores catalíticos son, por ejemplo:

- El gas natural es el combustible preferido (cuando se requiere combustible adicional).
- El quemador distribuido es el más adecuado.
- Las cámaras están construidas en acero inoxidable o acero al carbono.
- La sección de quemadores debe estar construida con una longitud suficiente para proporcionar un flujo y una distribución de temperatura uniformes a lo largo de la superficie del catalizador.
- Perfil de flujo plano a lo largo de la superficie del catalizador.
- El gas residual se mueve a través del lecho de catalizador en un “flujo en tapón” con un mínimo de retromezclado.
- Tiempo de residencia típico 0,3–0,5 segundos.

Al igual que en la oxidación térmica, puede ser necesario un cierto tratamiento previo del gas residual, como la condensación del vapor de agua de un gas residual húmedo, la eliminación de sólidos y líquidos y – típico para el sistema catalítico – la eliminación de venenos del catalizador. Los requisitos de seguridad son casi los mismos que con la oxidación térmica (ver Sección 3.5.2.4).

La oxidación catalítica debe estar diseñada de tal modo que facilite la retirada del catalizador para su limpieza o sustitución.

En la Figura 3.69 [cww/tm/132] se da un ejemplo de oxidador catalítico regenerativo.



**Figura 3.69. Oxidador catalítico regenerativo**

- 1) Entrada de escape, 2) Lecho de material cerámico disipador de calor, 3) Capa de catalizador, 4) Cámara de combustión, 5) Capa de salida del catalizador, 6) Cámara regenerativa, 7) Colector de salida, 8) Conducto de transición

### Aplicación

La oxidación catalítica se utiliza para reducir emisiones de una serie de fuentes estacionarias. La principal fuente de emisión es COV de la evaporación de disolventes, y la oxidación catalítica es utilizada ampliamente por muchos sectores industriales en esta categoría. Son ejemplos del sector químico y sectores relacionados:

- Estaciones de carga de gasolina en gran volumen.
- Ventilaciones de proceso en la industria de síntesis de compuestos químicos orgánicos.
- Fabricación de productos de goma y polímeros.
- Fabricación de polietileno, poliestireno y resinas de poliéster.

La oxidación catalítica es más adecuada para sistemas con bajos volúmenes de escape, en los que hay poca variación en el tipo y concentración de COV, y en los que no hay presentes venenos de catalizadores u otros contaminantes que puedan ensuciarlos. Otros componentes a eliminar son monóxido de carbono y – hasta un cierto grado – partículas, aunque estas últimas requieren dispositivos especiales.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Caudales de gas típicos [Nm <sup>3</sup> /h]	1200–86000 (oxidador catalítico directo y regenerativo) <sup>1,2</sup> 90–86000 (oxidador catalítico recuperativo) <sup>3</sup>
Temperatura [°C]	300–500 antes del catalizador 500–700 después del catalizador
Concentración de COV en el gas residual	<25 % LEI <sup>1</sup>
Tiempo(s) de residencia	0.3–0.5 (según el volumen de lecho catalítico)

<sup>1</sup> [cww/tm/116]

<sup>2</sup> [cww/tm/119]

<sup>3</sup> [cww/tm/118]

Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Más compactos que los oxidadores térmicos.</li> <li>Requieren temperaturas más bajas y menos combustible adicional que los oxidadores térmicos.</li> <li>Apenas se produce NO<sub>x</sub> por fijación atmosférica (alrededor del 20–30 % de la cantidad producida por oxidación térmica).</li> <li>El CO de la corriente de gas residual es eliminado simultáneamente por el catalizador.</li> <li>Posibilidad de una eficacia alta, constante y fiable.</li> <li>Las oxidaciones recuperativa y regenerativa tienen una alta eficacia térmica, lo que produce un menor consumo de combustible y una menor emisión de dióxido de carbono.</li> <li>Es posible la integración en el proceso del calor residual o la generación de vapor.</li> <li>Apenas se requiere aislamiento.</li> <li>Riesgo de incendio reducido en comparación con el oxidador térmico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menor eficacia en la destrucción de COV que la oxidación térmica.</li> <li>Sistema sensible a cambios en el valor calorífico del gas.</li> <li>Riesgo de formación de dioxinas, cuando se incineran compuestos clorados.</li> <li>Todos los catalizadores son susceptibles a agentes envenenantes, agentes ensuciadores y supresores de actividad.</li> <li>Con frecuencia, antes hay que eliminar las partículas.</li> <li>Los catalizadores agotados que no puedan regenerarse pueden requerir desecho.</li> </ul>

Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]			Comentarios
	directa	regenerativa	recuperativa	
COV	95 <sup>1</sup>	90-99 <sup>2</sup>		
	98-99 <sup>a 1</sup>			
PM <sub>10</sub>	25-99,9 <sup>1</sup>			Productos de petróleo y carbón
	50-99,9 <sup>1</sup>			Productos químicos y relacionados
CO		>98 <sup>b 2</sup>		
Olor	80-95 <sup>3</sup>			
Parámetro	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]			Comentarios
COV	<1-20 <sup>c</sup>			

<sup>a</sup> requiere mayores volúmenes de catalizador y/o temperaturas más elevadas  
<sup>b</sup> catalizador a base de metales preciosos  
<sup>c</sup> niveles bajos para sustancias peligrosas, niveles altos para sustancias menos peligrosas  
<sup>1</sup> [cww/tm/116]  
<sup>2</sup> [cww/tm/119]  
<sup>3</sup> [cww/tm/70]

Efectos sobre otros medios

Los principales servicios y consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Combustible durante arranque y condiciones no autotérmicas <sup>a</sup> [Nm <sup>3</sup> metano por 1000 Nm <sup>3</sup> ]	0–100	
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	1–2 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	1–5 <sup>1</sup>	

<sup>a</sup> rango autotérmico para COV 1–2 g/Nm<sup>3,1</sup> (sistema regenerativo) y 3–5 g/Nm<sup>3</sup> (sistema recuperativo)  
<sup>1</sup> [cww/tm/70]

Las emisiones al medio ambiente incluyen trazas de monóxido de carbono y, debido a la temperatura relativamente baja en comparación con la oxidación térmica, un bajo contenido en NO<sub>x</sub>. Pueden alcanzarse niveles de emisión de 15 mg/Nm<sup>3</sup>.

El catalizador tiene una vida útil de dos años y probablemente más. Luego debe ser regenerado o desechado como residuo químico o incluso peligroso.

Cuando los COV oxidados contienen azufre y/o halógenos, cabe esperar emisiones adicionales de dióxido de azufre y/o haluros de hidrógeno. Estas deben eliminarse con técnicas adecuadas.

### Monitorización [cww/tm/79]

Para controlar las condiciones de combustión es necesario monitorizar la temperatura del lecho, la caída de presión a través del lecho, la temperatura de combustión y el contenido de monóxido de carbono y oxígeno de la corriente de gas efluente.

La eficacia de eliminación del sistema puede determinarse monitorizando la concentración de COV y/o el olor antes y después del oxidador. Los COV pueden medirse como carbono total, utilizando un detector de ionización de llama. Puede hacerse un análisis cualitativo de las emisiones tomando muestras en puntos de muestreo seleccionados y analizándolas subsiguientemente mediante CG/EM. Las eficacias de eliminación de emisiones olorosas se determinan tomando muestras en puntos de muestreo seleccionados y analizándolas subsiguientemente por olfatometría.

Los quemadores deben inspeccionarse regularmente y, si es necesario, limpiarse. Si se acumulan depósitos rápidamente, hay que tomar acciones preventivas. Puede ser necesario un tratamiento previo eficaz para limpiar el gas residual contaminado antes de que entre en el quemador. Si los depósitos son debidos a carbono, puede ser indicación del uso de una relación incorrecta entre gas residual y combustible, así como de la necesidad de comprobar los ajustes de control.

### Economía

Tipo de costes	Costes			Comentarios
	Directa	Regenerativa	Recuperativa	
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	14000-58000 USD <sup>1</sup> 10000-80000 EUR <sup>2</sup>	24000-89000 USD <sup>3</sup> 30000-40000 EUR <sup>2</sup>		
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	2800-21000 USD <sup>1</sup>	3600-12000 USD <sup>3</sup>		
mano de obra servicios consumibles	0,5 días por semana	2 días por año		
Rentabilidad [por tonelada de contaminante por año]	440-3600 USD <sup>1</sup>	150-26000 USD <sup>3</sup>		
<sup>1</sup> [cww/tm/116]				
<sup>2</sup> [cww/tm/70]				
<sup>3</sup> [cww/tm/119]				

Factores de costes [cww/tm/80]:

Factores	Influencia / resultados
Volumen de gases residuales a tratar.	Dimensiones de la cámara de combustión.
Contenido calorífico del gas residual.	Diseño del equipo de combustión, requisitos de combustible de apoyo.
Eficacia de destrucción de disolventes requerida	Velocidad espacial y por consiguiente la cantidad de catalizador requerida
Instrumentación	
Tipo de recuperador de calor	
Requisitos de instalación (interior, exterior, a nivel del suelo, en azotea, etc.).	

3.5.2.6. Combustión en antorcha

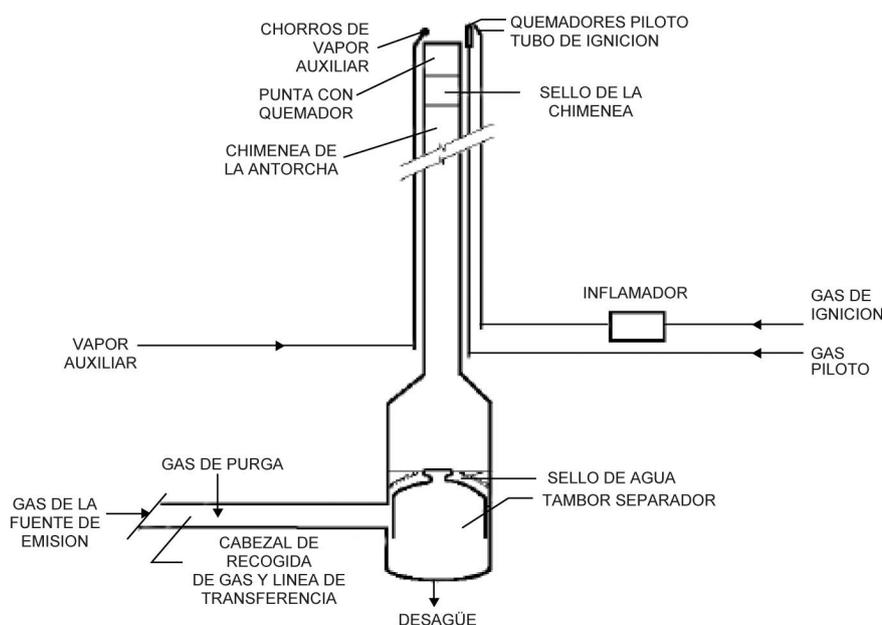
**Descripción**

La combustión en antorcha es un proceso de oxidación a alta temperatura utilizado para quemar componentes combustibles de gases residuales de operaciones industriales. Hay dos tipos de antorchas:

- Antorchas elevadas
- Antorchas de suelo.

Las **antorchas elevadas**, que son el tipo más común, tienen mayor capacidad que las antorchas de suelo. En las antorchas elevadas, se alimenta una corriente de gas a través de una chimenea de una altura entre 10 y 100 m, siendo combustionada en la punta de la chimenea. La llama está expuesta a perturbaciones atmosféricas (viento, precipitaciones). Las antorchas elevadas están normalmente diseñadas para grandes capacidades (cientos de toneladas por hora) y son más adecuadas para grandes variaciones del caudal de gas.

El típico sistema de antorcha elevada (ver figura 3.70 [cww/tm/143]) consiste en [cww/tm/143]:



**Figura 3.70. Sistema típico de antorcha elevada [cww/tm/143]**

- Colector de gas y conducciones para recoger los gases de las unidades de proceso.
- Tambor separador (tambor de desprendimiento) para eliminar y almacenar los condensables y líquidos arrastrados.
- Sello patentado, sello de agua o suministro de gas con purga para evitar el retroceso de la llama.
- Unidad de uno o varios quemadores y chimenea de antorcha.
- Pilotos de gas e inflamador para inflamar la mezcla de gas residual y aire.
- Si se requiere, previsión de una fuerza externa (inyección de gas o aire forzado) para una combustión sin humo.

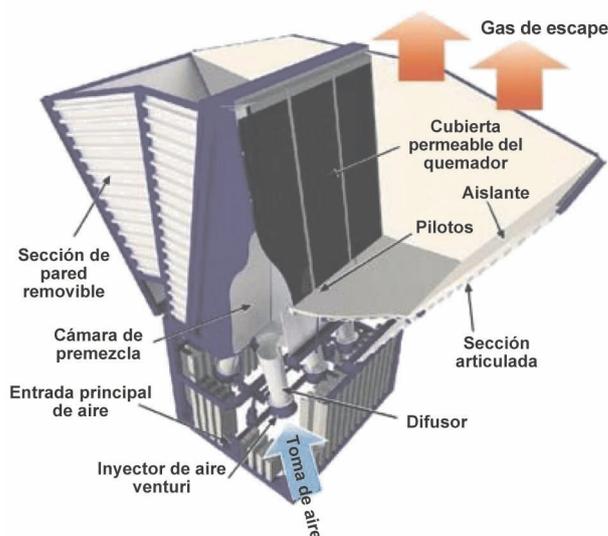
Como gas de purga puede usarse gas natural, gas combustible, gas inerte o nitrógeno.

En las **antorchas de suelo** la combustión tiene lugar a nivel del suelo. Varían en complejidad y pueden consistir en quemadores de antorcha convencionales con descarga horizontal sin recintos o de quemadores

múltiples en recintos de acero con revestimiento refractario. Están diseñados para capacidades más pequeñas (decenas de toneladas por hora) y manejan la carga básica de los gases combustibles generados por todas las fuentes puntuales conectadas al sistema de antorcha durante el funcionamiento normal. Esto incluye principalmente válvulas de seguridad y los procesos de arranque y parada.

El gran diámetro de la antorcha de suelo ofrece la posibilidad de instalar más quemadores. Así, la antorcha de suelo puede ajustarse a cantidades variables de gas de antorcha ajustando el número de quemadores que funcionan. Esto mejora las condiciones de combustión y produce una mayor eficacia de combustión.

Hay un tipo nuevo de antorcha de suelo en uso, el **sistema de combustión de superficie con premezcla** (quemador integrado), en el que el gas y el aire premezclados queman sobre un medio permeable. Este medio permeable consiste en varias capas de fibras de metal y soporta temperaturas de hasta 1300 °C. El gas es alimentado a un inyector venturi en el extremo inferior del sistema de quemador, y el inyector aspira el aire necesario para combustión estequiométrica. Pueden conseguirse relaciones de aire entre 1:12 y 1:19. En el difusor, situado directamente encima del inyector venturi, la velocidad de la mezcla se reduce y por lo tanto la presión aumenta, lo que aumenta la eficacia del inyector venturi y hace que la presión estática haga fluir la mezcla de gas a través del medio permeable. Desde el infusor, la mezcla de gas entra en la cámara de premezcla y fluye a través del medio permeable, donde es inflamada por un quemador piloto. La combustión tiene lugar justo encima del medio permeable. Se libera calor por convección, lo que hace que exista la opción de recuperación de energía con un intercambiador de calor. La zona de combustión cerrada evita la descarga de calor y luz. La técnica se describe en la Figura 3.71 [cww/tm/153].



*Figura 3.71: Principales componentes del quemador cerrado*

La plancha de fibra es refrigerada constantemente por el flujo de gas y aire. Dado que las fibras metálicas tienen una gran superficie en relación con su volumen, se enfrían rápidamente. Esto hace que la unidad sea resistente al retroceso de la llama. Incluso al caudal más bajo, la corriente premezclada es suficiente para enfriar la plancha, de modo que el lado de premezcla de la plancha no rebase los 150 °C [cww/tm/153].

Un solo módulo comprende seis unidades de quemador en dos bancos consecutivos con una capacidad total de 90 MW para gas natural (Índice de Wobbe 47,8 MJ/Nm<sup>3</sup>). La llama es apantallada y luego es dirigida hacia arriba por paredes aislantes. La radiación de calor al área circundante queda minimizada, y los aumentos locales de temperatura ambiente se limitan a menos de 5 °K [cww/tm/153].

La combustión completa con sistemas de antorcha requiere suficiente aire de combustión y una mezcla adecuada de aire y gas residual. Puede producirse humo de la combustión, según los componentes del gas residual y la cantidad y distribución del aire de combustión. Los gases residuales que contienen metano, hidrógeno, monóxido de carbono y amoníaco queman normalmente sin humo. Los gases residuales que con-

tienen hidrocarburos pesados como parafinas sobre metano, olefinas y compuestos aromáticos, causan humo. La industria requiere normalmente una capacidad sin humo de un 10-15 % para antorchas elevadas y del 100 % para antorchas de suelo. Se utiliza una fuerza impulsora externa como supresor de humo, como:

- Vapor, suministrado a una presión manométrica de 0,7 MPa, utilizado normalmente en complejos grandes en los que hay vapor fácilmente disponible.
- Aire, indicado para aplicaciones que requieran una instalación pequeña y relativamente económica.
- Gas a alta presión, que es muy caro.
- Agua, suministrada a una presión de 2 MPa, adecuada en lugares donde hay agua fácilmente disponible en grandes cantidades.

En las antorchas de suelo raramente se requiere fuerza externa.

Los gases residuales a combustionar en antorcha deben tener un contenido calorífico mínimo de 11 MJ/Nm<sup>3</sup> para combustión completa, de lo contrario debe agregarse combustible auxiliar. En algunos casos, incluso la combustión de gases residuales que tengan el contenido calorífico necesario requerirá también calor suplementario. Si hay presente nitrógeno ligado al combustible, la combustión de amoniaco con un valor calorífico de 13,6 MJ/Nm<sup>3</sup> requerirá mayor calor para minimizar la formación de NO<sub>x</sub>.

Los complejos industriales suelen utilizar un sistema de antorcha integrado, es decir, una combinación de una antorcha de suelo con un diseño de quemador óptimo para caudales de gas residual durante el funcionamiento normal, y una antorcha integrada para caudales elevados durante emergencias y perturbaciones en el proceso.

En la Figura 3.72 – Figura 3.74 [cww/tm/64] se muestran distintos tipos de antorchas.

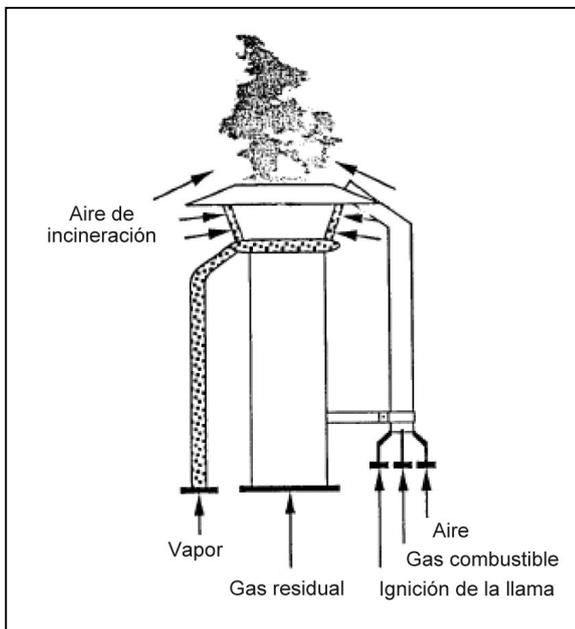


Figura 3.72. Antorcha con inyector

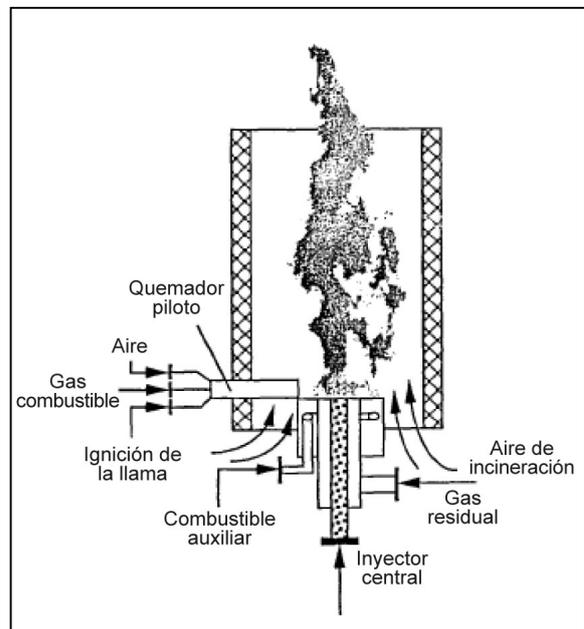


Figura 3.73. Antorcha con pantalla

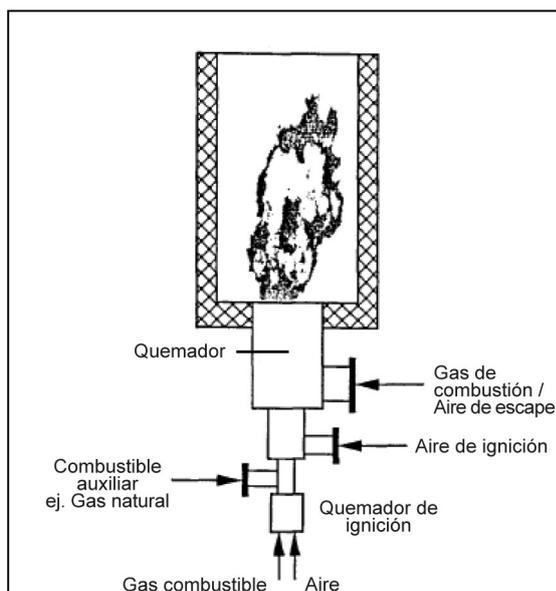


Figura 3.74. Antorcha con mufla

### Aplicación

Las antorchas se utilizan ampliamente en la industria del petróleo, gas e industria petroquímica para desechar de forma segura el exceso de gases y vapores combustibles cuando no hay posibilidad de utilizarlos o reciclarlos. Los COV de ventilaciones, bombas y compresores son recogidos y enviados a un sistema de antorcha. Una función significativa de las antorchas es evitar la acumulación de grandes cantidades de gases inflamables como medida de seguridad o en condiciones de emergencia. Técnicamente, todos los puntos de una planta química con una emisión de gases combustibles de seguridad están conectados a un sistema de antorcha. Sin embargo, normalmente las antorchas no se utilizan regularmente como medida continua. También pueden usarse para quemar gases residuales generados por digestores de aguas cloacales o de lodo.

Mientras que las antorchas elevadas se utilizan normalmente como antorchas de emergencia y de alivio de gases, las antorchas de suelo se utilizan más frecuentemente pueden – a diferencia de las antorchas elevadas – manejar grandes fluctuaciones en el caudal de gas. Cuando puedan producirse lateres fluctuaciones, se requerirá combinación con una antorcha elevada.

Como se ha reportado [cww/tm/153], el tipo de combustión en superficie con premezcla es aplicable a gases tóxicos y peligrosos, es decir, mezclas de gas que contengan sulfuro de hidrógeno.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Caudales de gas típicos	0-1800000 Nm <sup>3</sup> /h <sup>1</sup> (límite superior para antorchas elevadas) 600-210000 Nm <sup>3</sup> /d (Rango del índice Wobbe 15-52 MJ/Nm <sup>3</sup> ) para antorchas de suelo del tipo de combustión superficial con premezcla
Temperatura de combustión [°C]	>800 <sup>2</sup> 900-1260 °C (antorchas de suelo del tipo de combustión superficial con premezcla)
Tiempo de residencia en la cámara de combustión [s]	1-2 <sup>2</sup>
Rango de presión [manométrica kPa]	0-0,73 (antorchas de suelo del tipo de combustión superficial con premezcla)
Concentración de COV en el gas residual	0-100 % LEL con ingeniería de seguridad <sup>2</sup> 0-50 % LEL sin ingeniería de seguridad <sup>2</sup>
Contenido de oxígeno tras incineración	>5 % <sup>3</sup> (antorcha con mufla)
Velocidad de la antorcha [m/s]	0-20 <sup>3</sup> (para evitar retroceso de llama)

<sup>1</sup> [cww/tm/117]  
<sup>2</sup> [cww/tm/132]  
<sup>3</sup> [cww/tm/64]

Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Generales</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de eliminación eficaz para el exceso de gases combustibles y no reciclables o emisiones momentáneas de grandes cantidades de gas.</li> <li>Puede usarse para controlar corrientes de gas residual intermitentes o fluctuantes.</li> </ul>	<p><u>Generales</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No se eliminan contaminantes (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, monóxido de carbono, haluros de hidrógeno) más allá de la antorcha.</li> <li>Se requieren supresores de humo.</li> <li>Calor de combustión no recuperable.</li> <li>Elevados costes de adaptación a instalaciones existentes.</li> </ul>
<p><u>Antorchas elevadas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Liberación rápida y segura de grandes cantidades de gases residuales.</li> <li>Equipo en espera para uso el caso de emergencia.</li> </ul>	<p><u>Antorchas elevadas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Molestias de luz.</li> <li>Molestias de ruido.</li> <li>Dificultades para manejar caudales bajos.</li> <li>La formación de coque puede causar bloqueo de la punta.</li> </ul>
<p><u>Antorchas de suelo</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ignición fiable (menos afectada por el viento).</li> <li>Flexibles; admiten variaciones moderadas del caudal de gas.</li> </ul>	<p><u>Antorchas de suelo</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad limitada.</li> <li>No admiten grandes variaciones del caudal de gas, por lo que requieren combinación con antorchas elevadas.</li> <li>Mayores riesgos de salud y seguridad en caso de fallo.</li> <li>Eficacia potencialmente reducida debido a mala calidad del combustible.</li> <li>Molestias de olores.</li> </ul>
<p><u>Antorcha de suelo de combustión superficial con premezcla</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Combustión completa.</li> <li>Sistema modular para montaje rápido y fácil transporte.</li> <li>Margen de regulación muy amplio (1:30 con índice Wobbe 15-52 MJ/Nm<sup>3</sup>)</li> <li>Arranque directo a plena capacidad sin necesidad de periodo de arranque.</li> <li>Bajas emisiones de NO<sub>x</sub></li> <li>Opción de recuperación de energía.</li> <li>Bajas emisiones de luz y calor.</li> </ul>	<p><u>Antorcha de suelo de combustión superficial con premezcla</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nueva tecnología, por lo que no está reconocida en todo el mundo.</li> <li>Costes elevados en comparación con antorchas convencionales.</li> </ul>

Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Antorcha elevada		Antorcha de suelo	
	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]
COV	>98 <sup>a 1</sup>		>99 <sup>a 2</sup>	
	80-86 <sup>3</sup>		99,9 <sup>c 3</sup>	
NO <sub>x</sub>		400 (200 ppm)		400 (200 ppm)
				11,6 (3,9 ppmv) <sup>b,c</sup>
NO				8,6 (2,9 ppmv) <sup>b,c</sup>
Hidrocarburos (incluidos BTEX)				<2,8 (<1 ppmv) <sup>b,c</sup>
CO				-
Ruido				73 dB(A) <sup>b,d</sup>

<sup>a</sup> en condiciones óptimas: contenido calorífico del gas residual >11 MJ/Nm<sup>3 1</sup>, los caudales y contenidos caloríficos bajos alcanzan combustiones de combustión más bajas.

<sup>b</sup> Sistema de combustión superficial con premezcla

<sup>c</sup> corregido a un 3 % O<sub>2</sub>

<sup>d</sup> a 50 m en condiciones de campo libre

<sup>1</sup> [cww/tm/117]

<sup>2</sup> [cww/tm/84]

<sup>3</sup> [cww/tm/153]

Los niveles de emisión alcanzables indicados en la tabla reportan la destrucción de contaminantes atmosféricos (COV e hidrocarburos) por combustión en antorcha. Los otros parámetros (NO y NO<sub>x</sub>) hacen referencia a emisiones causadas por la combustión en antorcha. La combustión en antorcha no tiene instalado tratamiento del gas de escape, por lo que los contaminantes causados por el proceso de incineración de azufre y/o halógenos que contienen gases residuales, NO<sub>x</sub>, monóxido de carbono, hollín, etc. normalmente no se controlan. Por este motivo, las antorchas de suelo no son adecuadas para gases tóxicos y peligrosos. No obstante, la reacción de combinación / recombinación a dioxinas no se ve favorecida por falta de “ventana de recombinación” y superficies metálicas que actúen como catalizador.

La eficacia de eliminación de la combustión en antorcha, como se describe en la tabla superior, sólo es válida en las condiciones óptimas. El rango de eficacia en condiciones no óptimas cubre 0-98 % [cww/tm/84], lo que significa que la combustión en antorcha es muy sensible a los cambios de estas condiciones. Eso hace que la combustión en antorcha sea una técnica de eliminación muy poco fiable para uso en el funcionamiento cotidiano.

### Efectos sobre otros medios

Los principales servicios y consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Supresores de humo (vapor, aire, agua, gas natural)		
Gas de ignición para el piloto de ignición (propano o butano)		
Gas de purga (nitrógeno o combustible) para mantener el sistema en sobrepresión		
Gas del piloto		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]		
Caída de presión [kPa]	1 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/64]		

La combustión en antorcha puede causar la emisión de ruido. Las fuentes más significativas son [cww/tm/94]:

- Inyección de supresor de humo
- Proceso de combustión
- Ventilaciones.
- 

Las antorchas asistidas por vapor generan ruido, debido a los chorros de vapor e inyectores a alta presión, así como el ruido de combustión asociado con los hidrocarburos. El vapor a alta presión genera ruido de alta frecuencia, que es el más molesto para las personas, y también mejora la eficacia de combustión, aumentando la liberación de energía y la velocidad de combustión, lo que de nuevo produce un mayor ruido de combustión. El ruido de combustión es normalmente un ruido de baja frecuencia, comparable al ruido de ventilación de la mezcla turbulenta de gases residuales y aire.

La supresión del ruido es un aspecto medioambiental crucial, y por lo tanto un aspecto importante del diseño que necesita abordarse en una fase temprana. Los aspectos para evitar el ruido son, por ejemplo:

- Reducción o atenuación del ruido de alta frecuencia de los chorros de vapor, mediante inyectores de vapor de múltiples orificios que, por otra parte, pueden conducir a una mayor formación de coque en condiciones de caudal bajo; un diseño de los orificios para hacer frente a este último inconveniente es esencial.
- Disposición de los inyectores de modo que las corrientes de los chorros puedan interactuar y reducir el ruido de mezcla.
- Aumento de la eficacia del supresor con formas de control mejores y más sensibles.
- Restricción de la presión de vapor a <0,7 MPa manométrica.
- Uso de un silenciador alrededor del inyector de vapor como pantalla acústica para los inyectores.
- Uso de antorchas con inyección de aire o antorchas de suelo cerradas.

Otros impactos son:

- Molestias de luz de antorchas elevadas.
- Molestias de olor debido a combustión insuficiente (principalmente en antorchas de suelo).

Hay que destacar que la combustión en antorcha interviene en un número considerable de episodios de incendios y explosiones en las industrias química y petroquímica, según informa el Ministerio del Medio Ambiente de Francia (a través de su Oficina de Análisis de Riesgos y Contaminación Industrial). Los resultados pueden encontrarse en la base de datos AIDA, gestionada por dicha organización.

**Monitorización [cww/tm/94]**

Hay que comprobar el caudal del supresor de humo a la punta de la antorcha, para asegurarse de que se introduce suficiente supresor, aunque no más del necesario para evitar el humo. Eso puede conseguirse de tres formas distintas:

- Mediante una serie de termopares calibrados para al menos 1000 °C.
- Mediante un detector de infrarrojos situado a nivel del suelo.
- Midiendo el caudal del gas de antorcha para averiguar la relación entre caudal de supresor y caudal de gas de antorcha. El control de caudal se realiza normalmente mediante válvulas de control o, en el caso de antorchas con inyección de aire, variando la velocidad del ventilador, la regulación de la válvula de entrada o la velocidad del soplante.

Se requiere una política de monitorización más estricta para las antorchas de suelo debido a los riesgos para la salud y la seguridad.

Es esencial una respuesta rápida del sistema de control, preferiblemente mediante transmisión electrónica de señales de control entre la chimenea de la antorcha y la sala de control correspondiente, que normalmente están alejadas. Debe considerarse la instalación de TV para monitorizar la antorcha en la sala de control, con el fin de permitir una intervención manual sobre el control de supresor en caso necesario.

Para el piloto, el equipo e monitorización operativa a aplicar incluye:

- Termopares (aunque hay que tener cuidado con las señales erróneas).
- Supervisión directa de la llama piloto (ej. supervisión por TV).
- Monitorización por infrarrojos (precaución: el agua absorbe los rayos IR), a veces modificada con monitorización óptica para que no haya interferencia por la absorción de rayos IR por el agua).
- Monitorización por rayos UV.
- Sondas de ionización.
- Alarma de baja presión.
- Control de caudal del gas de purga.

Se requiere un dispositivo para la detección continua de la presencia de la llama piloto.

**Economía**

Tipo de costes	Antorcha elevada	Antorcha de suelo	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	8300-560000 USD <sup>1</sup>		
Costes operativos [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	420-36500 USD <sup>1</sup>		
Rentabilidad [por t de contaminante controlada por año]	14-6400 USD <sup>1</sup>		

<sup>1</sup> [cww/tm/117]

Las antorchas consideradas tienen puntas con un diámetro entre 2,5 y 3,5 m, que queman un 100 % de gas residual combustible con un contenido calorífico de unos 17 MJ/Nm<sup>3</sup> y con una operación entre 1 y 100

horas al año. Las antorchas situadas en el extremo inferior de los costes de inversión y operativos tienen un mayor capacidad de caudal (aproximadamente 300000 Nm<sup>3</sup>/h) con un diámetro de la punta de la antorcha de hasta 2,3 m y una operación de 100 o más horas al año. Las antorchas en el extremo superior de la gama de costes tienen una menor capacidad de caudal (aproximadamente 36 Nm<sup>3</sup>/h), diámetros de punta de antorcha a partir de 2,5 cm y funcionan durante menos de 10 horas al año.

Dado que las antorchas son principalmente dispositivos de seguridad que manejan flujos de corta duración (generalmente una situación de perturbación o un emisión accidental de un proceso) más que un dispositivo de control que trata una corriente residual continua, no es totalmente apropiado comparar la rentabilidad de las antorchas con las de otros dispositivos de control. El coste por tonelada de contaminante controlada depende en gran medida de las horas anuales de funcionamiento. Un uso infrecuente de la antorcha producirá un mayor coste por tonelada de contaminante controlada, mientras que un uso más frecuente significa menores costes por tonelada de contaminante controlada.

### 3.5.3. Técnicas de recuperación y eliminación para partículas

Los contaminantes en forma de partículas son polvo, metales pesados y sus compuestos, aerosoles, neblinas y hollín, que se encuentran con frecuencia en las corrientes de gases residuales, gases de combustión y aire de escape en la industria química. Las partículas de polvo y metales pesados (y/o compuestos) se encuentran en corrientes de gases residuales de producción, cuando se manipulan, forman o almacenan compuestos sólidos y en forma de polvo, así como en el gas de combustión o en las corrientes de aire de escape de complejos de combustión, como plantas de energía o incineración de residuos. Los aerosoles y neblinas aparecen, por ejemplo durante la reacción y purificación de mezclas de producción. A continuación se describen los sistemas de tratamiento comunes.

#### 3.5.3.1. Separador

##### Descripción

La corriente de gas residual se pasa a una cámara en la que polvo, aerosoles y/o gotas son separadas del gas por acción de la gravedad o inercia, efecto que aumenta reduciendo la velocidad del gas mediante elementos del diseño, como deflectores, láminas o tela metálica.

El diseño debería asegurar una distribución buena y uniforme de velocidad dentro del recipiente. Los flujos preferenciales tienen un efecto adverso sobre la eficacia. El empleo de obstrucciones internas en el separador por inercia permite una operación a velocidades más altas, lo que represente una reducción en el volumen del separador en comparación con la cámara de sedimentación. El inconveniente es el aumento de la caída de presión.

##### Aplicación

Un separador se instala normalmente como paso preliminar a diversos sistemas de filtración de polvo, lavadores, torres de refrigeración, etc.. Se utiliza, por ejemplo, para evitar el arrastre del líquido de lavado con el gas residual purificado y/o para eliminar partículas abrasivas. No es aplicable para tratar partículas en gases de combustión.

Los límites y restricciones de aplicación son [cww/tm/70]:

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual [Nm <sup>3</sup> /h]	100–100000 <sup>1</sup>
Contenido de polvo	Sin restricción
Tamaño de partículas	>MP <sub>10</sub> , mejor >MP <sub>50</sub> <sup>2</sup>
Temperatura	Normalmente unos 540 °C, pero depende del material del recipiente <sup>2</sup>

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

<sup>2</sup> [cww/tm/108]

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>No hay partes móviles, por lo que el mantenimiento es bajo.</li> <li>Caída de presión muy baja.</li> <li>Adecuado para altas temperaturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja eficacia de eliminación, especialmente para partículas pequeñas.</li> <li>No adecuado cuando la diferencia de densidad entre el gas y las partículas es pequeña.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
Partículas	10–90 <sup>1</sup>		Depende del tamaño de las partículas
Gotas		100 <sup>1</sup>	En desnebulizadores

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### Efectos sobre otros medios

Consumible	Cantidad	Comentarios
Agua (sistema de limpieza opcional para deflectores o láminas)	100–200 l/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]		Sólo para el ventilador
Caída de presión [kPa]	<0.5 <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

Los residuos son el polvo separado y/o las gotas separadas, que deben desecharse si no es posible su reutilización o recirculación. Según su origen, el polvo separado podría estar contaminado con contenido tóxico y peligroso, lo que debe tenerse en cuenta para su tratamiento o desecho.

### Economía

Los costes de inversión son bajos pero, dado que el separador está normalmente integrado en otros sistemas, no es posible dar una cifra práctica.

#### 3.5.3.2. Ciclón

##### Descripción

Los ciclones utilizan la inercia para eliminar partículas de la corriente de gas, aplicando fuerzas centrífugas, normalmente dentro de una cámara cónica. Operan creando un doble torbellino dentro del cuerpo del ciclón. El gas entrante es forzado a un movimiento circular de caída al ciclón dentro de la superficie interna del tubo del ciclón. En el fondo, el gas gira y asciende en espiral por el centro del tubo, saliendo por la parte superior del ciclón. Las partículas de la corriente de gas son forzadas hacia las paredes del ciclón por la fuerza centrífuga del gas que gira, pero se encuentran con la oposición de la fuerza de arrastre del gas que pasa a través y sale del ciclón. Las partículas grandes alcanzan la pared del ciclón y son recogidas en una tolva inferior, mientras que las partículas pequeñas abandonan el ciclón con el gas saliente.

Los ciclones húmedos son unidades de gran eficacia, que rocían agua en la corriente de gas residual para aumentar el peso de las partículas y de este modo separar también el material fino y aumentar la eficacia de separación.

Hay dos tipos de ciclones: el ciclón de flujo inverso y el ciclón directo [cww/tm/79]:

- **El ciclón de flujo inverso** (ver Figura 3.75 [cww/tm/79]), que es el más común, consiste en:
  - o Un cuerpo cilíndrico de base cónica
  - o Una tolva de recogida de polvo
  - o Una entrada de aire, tangencial o axial
  - o Salidas.

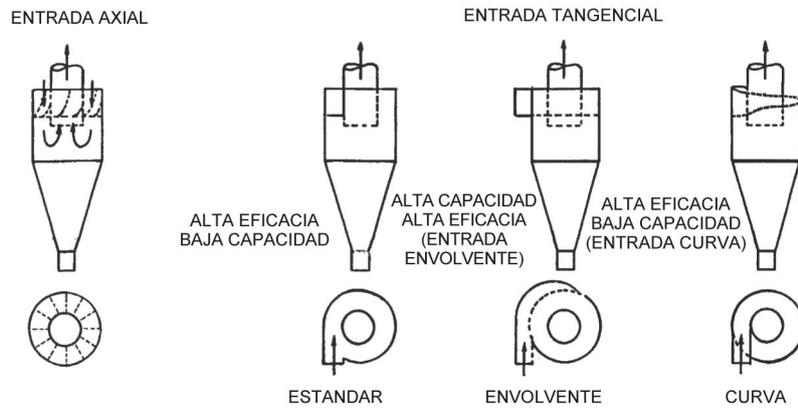


Figura 3.75. Ciclón de flujo inverso

- **El ciclón directo** (ver Figura 3.76 [cww/tm/79]) está equipado con impulsores fijos o móviles, y el gas de entrada es canalizado en espiral, en la que el gas limpio se concentra a lo largo del eje central y las partículas cerca de la pared.

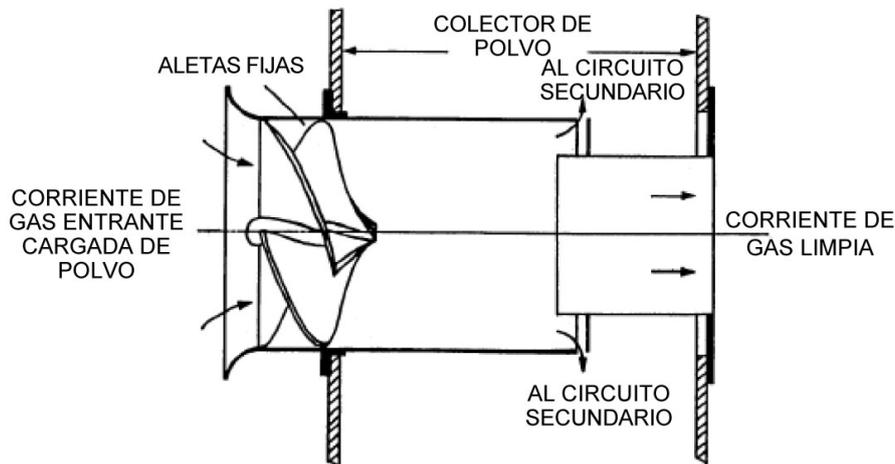


Figura 3.76. Ciclón directo

### Aplicación

Los ciclones se utilizan para controlar materias en forma de partículas, y principalmente con  $MP > 10 \mu m$ . No obstante, hay ciclones de alta eficacia diseñados para ser eficaces incluso para  $MP_{2.5}$  [cww/tm/107].

Los ciclones en sí no son generalmente adecuados para cumplir los reglamentos sobre contaminación atmosférica, sino que se aplican como dispositivos de limpieza previa para dispositivos de control final más caros, como filtros de mangas (ver Sección 3.5.3.5) o precipitadores electrostáticos (ver Sección 3.5.3.3). Se utilizan ampliamente después de operaciones de secado por rociado y después de operaciones de trituración, molienda y calcinación. Las unidades de combustión industriales a base de combustibles fósiles suelen utilizar múltiples ciclones que consiguen una eficacia mucho mayor que un solo ciclón, y pueden separar MP <2.5 µm.

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual [Nm <sup>3</sup> /h]	1–100000 <sup>1,2</sup> , (un solo ciclón) hasta 180000 <sup>2</sup> (múltiples ciclones en paralelo)
Contenido de polvo [g/Nm <sup>3</sup> ]	1–16000 <sup>2</sup>
Tamaño de partícula	<MP <sub>2.5</sub> - <MP <sub>200</sub> <sup>2</sup>
Temperatura	Depende del material del recipiente, puede ser >1200 °C <sup>1</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/132]	
<sup>2</sup> [cww/tm/107]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicidad de instalación</li> <li>• Recuperación de materia prima.</li> <li>• No hay partes móviles, por lo que hay poco mantenimiento y bajos costes operativos.</li> <li>• Recogida y desecho seco, excepto ciclones húmedos.</li> <li>• Requisitos de espacio relativamente pequeños.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recogida de partículas relativamente baja, especialmente para MP &lt;10 µm.</li> <li>• Los ciclones de entrada axial no pueden usarse con partículas que puedan causar una excesiva erosión o atasco de las válvulas de entrada.</li> <li>• No pueden manejar materias pegajosas.</li> <li>• Emisión de agua residual con los ciclones húmedos.</li> <li>• Ruido.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Los ciclones operan con mayor eficacia con cargas más elevadas de contaminantes, siempre que el dispositivo no se atasque. Las cargas de contaminantes más elevadas están normalmente asociadas con diseños de mayor caudal [cww/tm/107].

La eficacia de recogida de los ciclones varía en función del tamaño de partícula y el diseño del ciclón. Aumenta con [cww/tm/107]:

- El tamaño y/o densidad de las partículas.
- La velocidad en el conducto de entrada.
- La longitud del cuerpo del ciclón.
- El número de revoluciones del gas en el ciclón.
- La relación entre el diámetro del cuerpo del ciclón y el diámetro de salida del gas.
- La carga de polvo.
- La lisura de la pared interna del ciclón.

La eficacia de recogida disminuye con [cww/tm/107]:

- El aumento de viscosidad del gas.
- El aumento de la densidad del gas.
- El aumento del área del conducto de entrada del gas.
- La fuga de aire a la salida de polvo.

Parámetro	Índice de eficacia [%]				Comentarios
	Convencional	Alta eficacia	Alta productividad	Multiciclón	
PM	70-90 <sup>1</sup>	80-99 <sup>1</sup>	80-99 <sup>1</sup>		
PM <sub>10</sub>	30-90 <sup>1</sup>	60-95 <sup>1</sup>	10-40 <sup>1</sup>		
PM <sub>5</sub>		90 <sup>1</sup>		80-95 <sup>1</sup>	
PM <sub>2,5</sub>	0-40 <sup>1</sup>	20-70 <sup>1</sup>	0-10 <sup>1</sup>		

<sup>1</sup> [cww/tm/107]

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Agua (ciclones húmedos)		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	0,25-1,5 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	0,5-1 <sup>2</sup>	Unidades de baja eficacia (alta productividad)
	1-1,5 <sup>2</sup>	Convencional
	2-2,5 <sup>2</sup>	Unidades de alta eficacia

<sup>1</sup> [cww/tm/64]  
<sup>2</sup> [cww/tm/107]

Se emite polvo como residuo, que debe ser desechado. La cantidad depende de la carga de polvo del gas residual. Según su origen, el polvo separado puede estar contaminado con sustancias tóxicas y/o peligrosas.

La operación de los ciclones es una fuente significativa de ruido que debe eliminarse, por ejemplo aislando el equipo.

### Monitorización [cww/tm/79]

Puede determinarse la emisión de materia para evaluar la eficacia de un ciclón monitorizando la concentración de partículas en la corriente de gas efluyente, mediante una sonda de muestreo isocinética o un medidor basado, por ejemplo, en opacidad a luz visible o rayos UV, rayos beta o impacto de partículas.

Los requisitos de mantenimiento de los ciclones son bajos – debe haber libre acceso para permitir la inspección periódica del ciclón por si presenta erosión o corrosión. La caída de presión a lo largo del ciclón se monitoriza rutinariamente, y el sistema de manejo de polvo se comprueba, por si hay bloqueos.

### Economía

Tipo de costes	Costes		Comentarios
	Ciclón convencional simple	Ciclones múltiples	
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	1200-1500 USD <sup>1</sup>	1100-1400 USD <sup>1</sup>	
	900 EUR <sup>2</sup>		
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	700-7800 USD <sup>1</sup>	450-750 USD <sup>1</sup>	
	200 EUR <sup>2</sup>		
Rentabilidad [por tonelada de contaminante controlada por año]	0,45-460 USD <sup>1</sup>	0,32-50 USD <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> [cww/tm/107]  
<sup>2</sup> [cww/tm/70]

Para el ciclón convencional simple, se suponen caudales entre 1800 y 43000 Nm<sup>3</sup>/h, carga de partículas entre 2,3 y 230 g/Nm<sup>3</sup> y una eficacia de control del 90 %. Para los ciclones múltiples, se suponen caudales entre 36000 y 180000 Nm<sup>3</sup>/h y el mismo valor de carga de contaminantes y eficacia de control.

Por regla general, las unidades pequeñas que controlan una corriente de gas residual con una baja concentración de partículas serán más caras (por unidad de caudal y por cantidad de contaminante controlada) que una unidad grande que controle una corriente de gas residual con una elevada carga concentración de partículas.

### 3.5.3.3. Precipitador electrostático (PE)

#### Descripción

Un PE es un dispositivo de control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas contenidas en una corriente de gas a placas colectoras. Las partículas contenidas reciben una carga eléctrica cuando pasan a través de una corona por la que fluyen iones gaseosos. Electrodo situado en el centro de la trayectoria de flujo se mantiene a alto voltaje y genera un campo eléctrico que fuerza el desvío de las partículas a las paredes colectoras. El voltaje de corriente continua pulsante requerido es del orden de 20–100 kV.

Hay varios tipos de PE:

- PE de placa-alambre seco
- PE de tubo-alambre seco
- PE de placa-alambre húmedo
- PE de tubo-alambre húmedo

En el **PE de placa-alambre** (ver Figura 3.77 [cww/tm/79]), el gas residual fluye horizontalmente y en paralelo a placas verticales de material tipo lámina. Los electrodos de alto voltaje son alambres largos que están calibrados y cuelgan entre las placas. Dentro de cada trayectoria de flujo, el flujo de gas debe pasar por cada alambre en secuencia a medida que fluye por la unidad.

En el **PE de tubo-alambre** (o PE tubular) (ver Figura 3.78 [cww/tm/79]), el gas de escape fluye verticalmente a través de tubos conductores, generalmente con muchos tubos operando en paralelo. Los electrodos de alto voltaje son alambres largos suspendidos de un soporte en la parte superior del PE que recorren el eje de cada tubo.

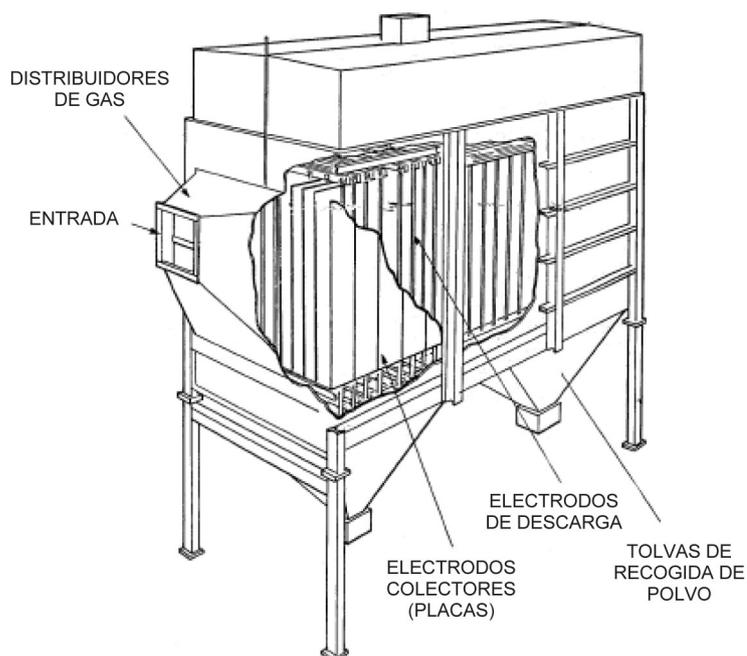


Figura 3.77. PE de placa-alambre

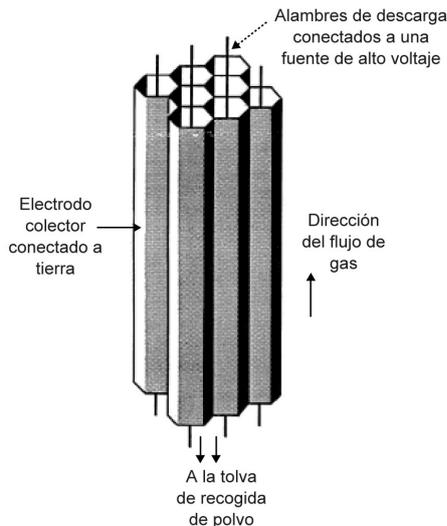


Figura 3.78. PE de tubo-alambre

En los PE secos, los colectores son sacudidos o golpeados por diversos medios mecánicos para desalojar las partículas, que se deslizan cayendo a una tolva. El procedimiento de sacudida puede proyectar algunas de las partículas de vuelta a la corriente de gas. Las partículas reintegradas en la última sección del PE no pueden ser capturadas de nuevo y escapan de la unidad. Una parte del gas residual puede también fluir alrededor de las zonas de carga. Por este motivo, se colocan deflectores contra emisiones furtivas para forzar que el flujo furtivo se mezcle con la corriente principal de gas.

Los PE de tubo-alambre secos pueden limpiarse acústicamente con bocinas acústicas. En contraste con los PE de placa-alambre, no ofrecen trayectorias furtivas alrededor de la región de recogida, pero la falta de uniformidad del campo puede hacer que algunas partículas no se carguen.

En los PE húmedos, los colectores son lavados de forma intermitente o continua por un rociador de agua, y las tolvas de recogida son sustituidas por un sistema de desagüe. Los PE húmedos requieren una fuente de agua de lavado para rociar o inyectar cerca de la parte superior de los tubos colectores, de forma continua o a intervalos programados. Este sistema de lavado sustituye el mecanismo de sacudida o acústico utilizado normalmente por los precipitadores secos. El agua fluye con las partículas recogidas a un sumidero desde el que el líquido es bombeado o desaguado. Una parte del líquido puede reciclarse para reducir la cantidad total de agua requerida.

Los PE funcionan como PE de una sola etapa o de dos etapas. En los PE de una sola etapa, el campo eléctrico que genera la descarga en la corona se emplea asimismo para atraer y con ello remover las partículas cargadas, con lo que la carga y la descarga se producen en un mismo aparato. En un PE de dos etapas, la carga y eliminación de las partículas ocurren en campos eléctricos separados, el segundo de los cuales es puramente electrostático.

La principal diferencia entre los PE de una etapa y de dos etapas se ilustra en la Figura 3.79 [cww/tm/79].

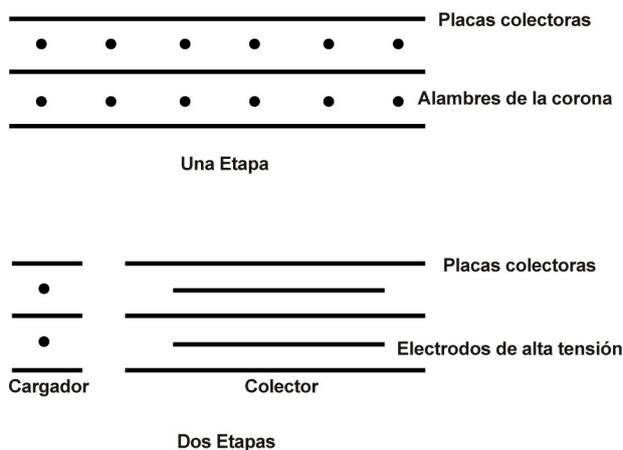


Figura 3.79. Diagrama esquemático de PE de una etapa y de dos etapas

Uno de los principales parámetros operativos es la superficie de recolección específica (SCA), o relación entre la superficie de los electrodos de recogida y el caudal de gas. Una mayor SCA equivale a mayores eficacias de eliminación, pero también requiere colectores de mayor tamaño. Las SCA normalmente son del orden de 40–160 s/m.

Los sistemas con riesgos elevados, por ejemplo de explosión o incendio, deben estar equipados con dispositivos de seguridad, como escotilla de explosión o sistemas de aspersores

**Aplicación**

Los PE se aplican para eliminar partículas hasta MP<sub>2.5</sub> y contaminantes atmosféricos pequeños y peligrosos, como la mayoría de metales (con la notable excepción del mercurio).

Los campos de aplicación en la industria química y sectores relacionados son:

Sector	Tipo de PE
Calderas	Placa-alambre seco
Fabricación de compuestos químicos (ej. ácido sulfúrico)	Placa-alambre seco y húmedo, tubo-alambre seco y húmedo
Refinerías	Placa-alambre seco
Incineración	Placa-alambre seco, tubo-alambre seco y húmedo

Los PE húmedos se utilizan en situaciones para las que la variante seca no es adecuada, como por ejemplo:

- Material húmedo y pegajoso
- Mezclas inflamables / explosivas
- Material con alta resistividad
- Cuando se desean mayores eficacias de recogida.
- Para controlar neblinas ácidas

El PE de una sola etapa se utiliza en sistemas de tratamiento de gases de combustión de grandes complejos, por ejemplo en plantas de energía e incineraciones de residuos, como eliminación de polvo y cenizas volantes. Como parte del polvo también se eliminan y desechan, junto con otras partículas, metales pesados y sus compuestos. También es adecuado para separar aerosoles y neblinas.

El PE de dos etapas se aplica para eliminar polvo y neblinas de aceite. Es una alternativa a la filtración superficial (filtro HEPA). El PE de dos etapas es común cuando se tratan corrientes de gas residual pequeñas (<25 Nm<sup>3</sup>/s) y una elevada proporción de partículas por debajo de una micra, como humo o neblinas de aceite.

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual típico [Nm <sup>3</sup> /h]	360000–1800000 (placa-alambre seco) <sup>1</sup>
	1800–180000 (tubo-alambre seco) <sup>2</sup>
	180000–900000 (placa-alambre húmedo) <sup>3</sup>
	1800–180000 (tubo-alambre húmedo) <sup>4</sup>
Temperatura [°C]	hasta 700 (PE seco) <sup>1,2</sup>
	<80 – 90 (PE húmedo) <sup>3,4</sup>
Contenido de polvo típico [g/Nm <sup>3</sup> ]	2–110 (placa-alambre) <sup>1,3</sup>
	1–10 (tubo-alambre) <sup>2,4</sup>
Resistividad [Ω cm]	5 x 10 <sup>3</sup> –2 x 10 <sup>10</sup> <sup>1,3</sup> (PE seco)
Tamaño de partícula	>MP <sub>1.0</sub> (PE seco)
<sup>1</sup> [cww/tm/125]	
<sup>2</sup> [cww/tm/124]	
<sup>3</sup> [cww/tm/127]	
<sup>4</sup> [cww/tm/126]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta eficacia incluso para partículas pequeñas.</li> <li>Adecuado para una amplia gama de temperaturas, presiones y caudales de gas.</li> <li>Baja caída de presión, por lo que el consumo energético tiende a ser bajo.</li> <li>Los PE húmedos pueden también manejar partículas pegajosas, neblinas y polvos muy resistentes o explosivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riesgo de explosión con PE secos.</li> <li>La capacidad de separación depende de la resistividad de las partículas de polvo (PE seco).</li> <li>La reintegración de las partículas en la corriente puede ser un problema debido a elevadas velocidades del gas, una sacudida insuficiente o un bajo caudal de gas.</li> <li>Corrosión cerca de la parte superior de los alambres debido a fuga de aire y condensación de ácido, lo que también es un problema con los PE húmedos.</li> <li>Sensible al mantenimiento de la alineación geométrica correcta, por ejemplo de los electrodos de descarga de los alambres.</li> <li>Sensible a fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas (caudales, temperaturas, tamaño de partícula y composición del gas, carga de partículas).</li> <li>Requieren un espacio relativamente grande.</li> <li>Requieren personal altamente especializado.</li> <li>Precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje.</li> <li>Los PE secos no son recomendables para eliminar partículas pegajosas o húmedas.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

El tamaño del PE es el factor principal a la hora de determinar la eficacia de recogida. Otros parámetros que influyen sobre la eficacia de recogida son:

- Resistividad del polvo
- Composición del polvo y el gas
- Temperatura
- Distribución de tamaños de las partículas.

Parámetro	Índice de eficacia [%]		Comentarios
	PE seco	PE húmedo	
Partículas totales	99,0–99,2 <sup>1</sup>	99,0–99,2 <sup>2</sup>	
MP <sub>10</sub>	97,1–99,4 <sup>1</sup>	97,1–99,2 <sup>2</sup>	
MP <sub>2,5</sub>	96,0–99,2 <sup>1</sup>	97,4–99,2 <sup>2</sup>	
Parámetro	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]		Comentarios
	PE seco	PE húmedo	
Polvo	5–15		Para un PE bien diseñado y correctamente dimensionado
<sup>1</sup> [cww/tm/125]			
<sup>2</sup> [cww/tm/127]			

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Agua (para PE húmedos)		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	0,5–2 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	0,05–0,3 <sup>1,2</sup>	PE de una etapa
	0,5	PE de dos etapas
<sup>1</sup> [cww/tm/64]		
<sup>2</sup> [cww/tm/70]		

En los PE secos, el polvo separado se emite como residuo; en los PE húmedos, el polvo separado se mezcla con el agua de enjuague, que es tratada como agua residual.

Según su origen, el polvo separado puede estar contaminado – por ejemplo, el polvo proveniente de incineración puede contener dioxinas y/o metales pesados y sus óxidos. Este tipo de polvo podría ser clasificado como residuo peligroso y debería desecharse como tal.

**Monitorización** [cww/tm/79]

La emisión de materia para evaluar la eficacia de un PE puede determinarse monitorizando la concentración de partículas en la corriente de gas efluente, mediante una sonda de muestreo isocinética o medidores basados, por ejemplo, en opacidad a luz visible o rayos UV, rayos beta o impacto de partículas. Hay que monitorizar de forma rutinaria la intensidad y el voltaje en bornes del PE, la frecuencia de sacudida y la temperatura. La salida de polvo de la tolva de recogida debe mantenerse libre de bloqueos de modo que no se llene en exceso, lo que podría causar el cortocircuito del PE.

Los PE deben inspeccionarse regularmente para detectar cualquier deterioro, como corrosión, de los electrodos, del material aislante o del sistema de sacudida. Por lo tanto, el acceso al precipitador debe estar libre de obstrucciones, aunque dentro de las normas de seguridad.

**Economía**

Tipo de costes	Costes			
	Placa-alambre seco	Placa-alambre húmedo	Tubo-alambre seco	Tubo-alambre húmedo
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	8500-28000 USD <sup>1</sup>	18000-36000 USD <sup>2</sup>	18000-120000 USD <sup>3</sup>	35000-180000 USD <sup>4</sup>
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	2400-24000 USD <sup>1</sup>	3500-27000 USD <sup>2</sup>	2800-5600 USD <sup>3</sup>	4200-7000 USD <sup>4</sup>
Rentabilidad [por tonelada de contaminante controlada por año]	45-280 USD <sup>1</sup>	60-600 USD <sup>2</sup>	55-950 USD <sup>3</sup>	90-950 USD <sup>4</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/125]				
<sup>2</sup> [cww/tm/127]				
<sup>3</sup> [cww/tm/124]				
<sup>4</sup> [cww/tm/126]				

Los costes pueden ser sustancialmente superiores a los rangos indicados para contaminantes que requieran un nivel de control inusualmente alto, o que requieran que el PE esté construido con materiales especiales como acero inoxidable o titanio. En general, las unidades pequeñas que controlan una corriente de gas residual de baja concentración no serán tan rentables como una unidad grande que limpie un caudal con alta carga de contaminantes.

3.5.3.4. Lavador de polvo húmedo

**Descripción**

El lavado de polvo húmedo es una variación del lavado de gas húmedo (ver Sección 3.5.1.4), y utiliza las mismas técnicas o técnicas equivalentes para eliminar o recuperar partículas además de compuestos gaseosos. Los distintos lavadores utilizados son principalmente:

- **Lavador de relleno fibroso**  
Ver Sección 3.5.1.4. Es adecuado principalmente para contaminantes gaseosos. Para partículas, está restringido a la recogida de partículas finas y/o solubles, aerosoles y neblinas. Las partículas insolubles y/o gruesas obstruyen el lecho de fibra.

- **Lavadores de lecho móvil**  
Ver Sección 3.5.1.4.
- **Lavadores de columna de platos**  
Ver Sección 3.5.1.4. Su aplicación principal es para eliminación de partículas.
- **Torres de rociado**  
Ver Sección 3.5.1.4. Su aplicación primaria es la eliminación de partículas. Las torres de rociado no tienen tanta tendencia al ensuciamiento como los lavadores rellenos, pero se requieren relaciones líquido-gas muy altas ( $>3 \text{ l/m}^3$ ) para capturar partículas finas.
- **Lavadores de impacto y arrastre**  
Los lavadores de impacto y arrastre contienen un mecanismo para acelerar la corriente de gas de entrada hacia una superficie de líquido, y un separador de arrastre. Generalmente no son adecuados para aplicaciones de transferencia de materia, como eliminación de trazas de gas, sino para manejar corrientes de gas altas y bajas y operar con menores caídas de presión que los lavadores venturi.

En la Figura 3.80 [cww/tm/79] se da un ejemplo.

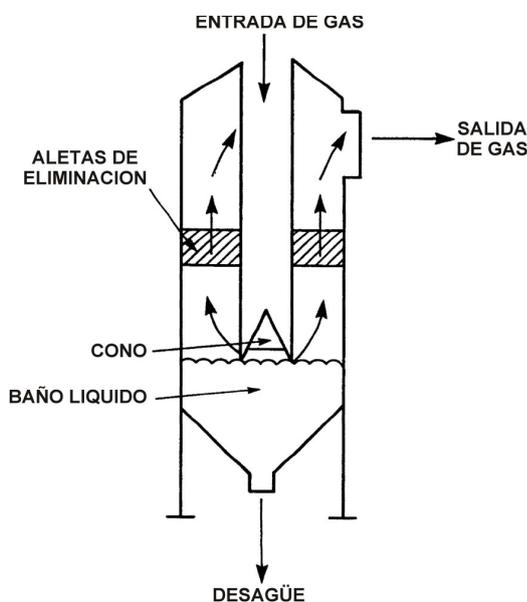


Figura 3.80. Lavador de impacto y arrastre

- **Lavadores venturi**  
La característica principal de un lavador venturi es la constricción del conducto – garganta venturi – que produce un aumento en la velocidad del gas. Se introduce líquido en el lavador y forma una película en las paredes, que es atomizada por la corriente de gas en la garganta venturi. Alternativamente, en los lavadores venturi con rociador, el líquido es rociado en la garganta venturi. Los lavadores venturi son dispositivos de lavado de partículas muy eficaces, ya que son adecuados para partículas incluso por debajo de una micra. También pueden usarse para eliminar trazas de gases, en particular de lechadas reactivas. En la Figura 3.81 [cww/tm/79] se da un ejemplo.

Un problema que plantea esta tecnología es la erosión que puede producirse debido a altas velocidades en la garganta. La garganta venturi incorpora a veces un recubrimiento refractario para hacerla resistente a la abrasión por partículas de polvo. El venturi está construido con material resistente a la corrosión diseñado para aumentar al máximo su vida útil. La elección final del material depende de factores como:

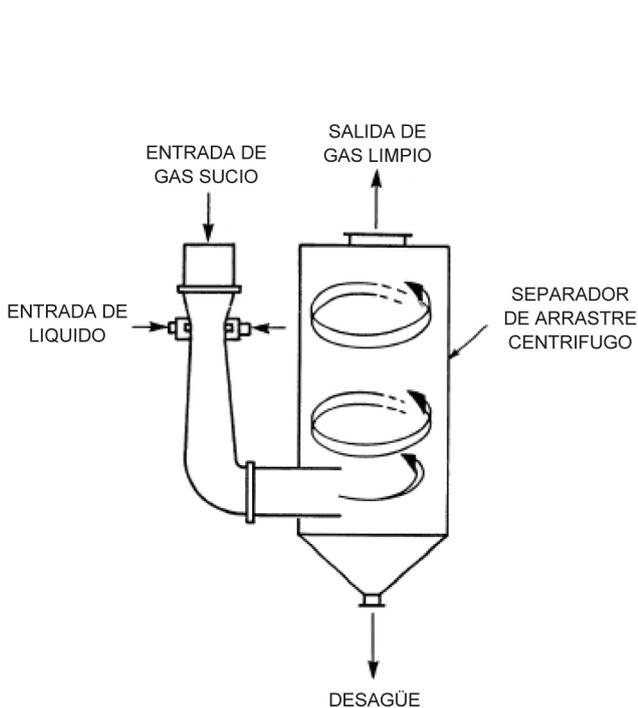


Figura 3.81. Lavador venturi

Aplicación

Ver Tabla 3.81.

- Temperatura
- Abrasión
- Corrosión
- Ataque químico.

La eficacia de recogida aumenta con la velocidad del gas y la caída de presión. Se han diseñado diversos modelos de lavadores venturi para permitir el control de la velocidad variando el ancho de la garganta venturi.

Generalmente, no se requiere tratamiento previo para los lavadores venturi, aunque en algunos casos el gas residual se enfría rápidamente para reducir la temperatura antes de entrar en lavadores hechos de materiales que pueden verse afectados por temperaturas elevadas.

Cuando la corriente de gas residual contiene tanto partículas como gases a controlar, los lavadores venturi pueden usarse como tratamiento previo que elimina las partículas con el fin de evitar la obstrucción de una instalación de tratamiento de gas residual posterior, como un lavador de lecho relleno.

Tabla 3.16: Aplicación y límites y restricciones de aplicación de distintos lavadores de polvo húmedos

	Relleno fibroso	Lecho móvil	Columna de platos	Torres de rociado	Impacto y arrastre	Venturi
	Recoge partículas finas y/o solubles. Sirve para eliminar neblinas y recoger aerosoles líquidos, compuestos inorgánicos y COV. Controla emisiones de aerosoles de productos químicos, plásticos, asfalto, ácido sulfúrico, industria de recubrimientos. Aceptación limitada para recogida de polvo.		Recogida de $\leq PM_{10}$ , $\leq PM_{2.5}$ , $PM_{HAP}$ Humos, vapores, gases inorgánicos, COV;	Recogida de $\leq PM_{10}$ , $\leq PM_{2.5}$ , $PM_{HAP}$ , Humos, vapores, gases inorgánicos, COV; Se suele usar como parte de desulfurización de gases. Uso limitado para partículas finas.	Recogida de $PM_{10}$ - $PM_2$ ; Uso en proceso y envasado de fármacos, fabricación de compuestos químicos, caucho, plásticos, cerámicas, fertilizantes. Control de procesos como secadoras, estufas y hornos, operaciones de trituración y molienda, rociado, ventilación, manipulación de materiales.	Recogida de $\leq PM_{10}$ , $\leq PM_{2.5}$ , hasta tamaños inferiores a una micra. Control de emisiones de partículas de calderas de servicio, industriales, comerciales e institucionales con combustión de carbón, aceite, madera y residuos líquidos. Control de emisiones en la industria química y afines. Se suele aplicar cuando se requieren elevadas eficacias de recogida para partículas finas.

	Relleno fibroso	Lecho móvil	Columna de platos	Torres de rociado	Impacto y arrastre	Venturi
Caudal de gas [Nm <sup>3</sup> /h]	1800–170000 <sup>1</sup>		1700–130000 <sup>2</sup>	2500–170000 <sup>3</sup>	1700–90000 <sup>4</sup>	720–100000 <sup>5</sup>
Temperatura [°C]	<60 <sup>1</sup>		4–370 (PM) <sup>2</sup> 4–38 (gases) <sup>2</sup>	4–370 (PM) <sup>3</sup> 4–38 (gases) <sup>3</sup>	hasta 150 <sup>4</sup>	4–370 <sup>5</sup>
Carga contaminantes (MP) [g/Nm <sup>3</sup> ]	0,2–11 <sup>1</sup>		Sin límites	Sin límites	hasta 23 <sup>4</sup>	1–115 <sup>5</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/110]						
<sup>2</sup> [cww/tm/111]						
<sup>3</sup> [cww/tm/114]						
<sup>4</sup> [cww/tm/112]						
<sup>5</sup> [cww/tm/115]						

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<p>Generales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede manejar polvos inflamables y explosivos con poco riesgo.</li> <li>• Proporciona refrigeración para gases calientes.</li> <li>• Los gases corrosivos pueden ser neutralizados.</li> <li>• Eliminación simultánea de polvo y compuestos inorgánicos.</li> </ul>	<p>Generales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El efluente líquido puede crear problemas de contaminación de agua.</li> <li>• Producto residual recogido húmedo</li> <li>• Requiere protección contra heladas.</li> <li>• Las partículas recogidas pueden estar contaminadas y/o no ser reciclables.</li> <li>• El gas de escape puede requerir recalentamiento para evitar penachos visibles.</li> </ul>
<p>Lavador de relleno fibroso</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede manejar neblinas.</li> <li>• Caída de presión relativamente baja.</li> </ul>	<p>Lavador de relleno fibroso</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto potencial de problemas de corrosión.</li> <li>• No es realmente adecuado para recoger partículas, sólo partículas finas y/o solubles.</li> </ul>
<p>Lavadores de columna de platos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrece absorción de gas y recogida de polvo en una sola unidad.</li> <li>• Pueden manejar neblinas.</li> <li>• La eficacia de recogida puede variar.</li> <li>• Mejora el contacto gas-lechada para eliminación de SO<sub>2</sub>.</li> </ul>	<p>Lavadores de columna de platos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto potencial de problemas de corrosión.</li> </ul>
<p>Torres de rociado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para recoger partículas así como gases.</li> <li>• Relativamente libre de obstrucciones.</li> <li>• Requisitos de espacio relativamente bajos.</li> <li>• Caída de presión relativamente baja.</li> <li>• Operación en atmósferas altamente corrosivas, posiblemente con construcción con tubo de plástico reforzado (FRP).</li> </ul>	<p>Torres de rociado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficacias de transferencias de materia relativamente bajas. Relativamente ineficaz para eliminar partículas finas. Con construcción con tubo de plástico reforzado (FRP), sensible a la temperatura.</li> </ul>
<p>Lavadores de impacto y arrastre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden manejar neblinas.</li> <li>• Índice de recirculación de agua relativamente bajo.</li> <li>• La eficacia de recogida puede variar.</li> </ul>	<p>Lavadores de impacto y arrastre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto potencial de problemas de corrosión.</li> </ul>
<p>Lavadores venturi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden manejar neblinas.</li> <li>• Mantenimiento relativamente bajo.</li> <li>• Diseño simple y fácil instalación.</li> <li>• La eficacia de recogida puede variarse.</li> <li>• También elimina contaminantes gaseosos reactivos.</li> <li>• Libres de obstrucciones.</li> </ul>	<p>Lavadores venturi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto potencial de problemas de corrosión.</li> <li>• Caída de presión relativamente alta, y por tanto elevado consumo de energía. El ruido puede ser un problema, ya que la velocidad del gas en la garganta venturi es alta.</li> <li>• Limitados a partículas y gases con elevada solubilidad.</li> </ul>

**Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables**

La eficacia de las técnicas de lavado depende en gran medida del tamaño de las partículas y aerosoles a recoger. Los índices de eficacia se detallan en la Tabla 3.17.

**Efectos sobre otros medios**

Los consumibles se listan en la Tabla 3.17

Con las técnicas de eliminación de polvo húmedas es esencial una instalación secundaria para separar la suspensión.

Según su origen, el polvo separado puede estar contaminado – por ejemplo, el polvo proveniente de incineración puede contener dioxinas y/o metales pesados y sus óxidos. Este tipo de polvo podría ser clasificado como residuo peligroso y debería desecharse como tal.

**Tabla 3.17. Índices de eficacia, consumibles y costes de las variantes de lavadores de polvo húmedos**

Parámetro	Índices de eficacia [%]					
	Relleno fibroso	Lecho móvil	Columna de platos	Torres de rociado	Impacto y arrastre	Venturi
PM	70->99 <sup>1</sup>		50-99 <sup>2</sup>	70->99 <sup>3</sup>	80-99 <sup>4</sup>	70->99 <sup>5,7</sup>
VOC	70->99 (neblinas) <sup>1</sup>			50-95 <sup>3</sup>		
SO <sub>2</sub>			80->99 <sup>2</sup>	80->99 <sup>3</sup>		
HCl						90 <sup>7</sup>
HF						90 <sup>7</sup>
NH <sub>3</sub>				94-99 <sup>8</sup>		94-99 <sup>8</sup>
<b>Consumible</b>	<b>Cantidad de consumibles</b>					
Agua de lavado [l/Nm <sup>3</sup> ]				>3 <sup>3</sup>		0,5-5 <sup>6</sup>
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]					1-2 <sup>6</sup>	<0,5-6 <sup>6,7</sup>
Caída de presión [kPa]					1,5-2,8 <sup>6</sup>	2,5-20 <sup>6,7</sup>
<b>Tipo de costes</b>	<b>Costes</b>					
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	600-1800 USD <sup>1</sup>		1300-7000 USD <sup>2</sup>	500-2200 USD <sup>3</sup>	2800-10000 USD <sup>4</sup>	1900-17000 USD <sup>5</sup> 5000 EUR <sup>a,7</sup>
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	1000-21100 USD <sup>1</sup>		1500-41100 USD <sup>2</sup>	800-28100 USD <sup>3</sup>	2200-42000 USD <sup>4</sup>	2400-70000 USD <sup>5</sup> b
Rentabilidad [por tonelada de contaminante]	40-710 USD <sup>1</sup>		51-1300 USD <sup>2</sup>	28-940 USD <sup>3</sup>	88-1400 USD <sup>4</sup>	84-2300 USD <sup>5</sup>

<sup>a</sup> a 10000 Nm<sup>3</sup>/h, factor de escalado a la potencia de 0,3  
<sup>b</sup> [2500 + 100 x (flujo/1000)] EUR  
<sup>1</sup> [cww/tm/110]  
<sup>2</sup> [cww/tm/111]  
<sup>3</sup> [cww/tm/114]  
<sup>4</sup> [cww/tm/112]  
<sup>5</sup> [cww/tm/115]  
<sup>6</sup> [cww/tm/132]  
<sup>7</sup> [cww/tm/70]  
<sup>8</sup> [cww/tm/138] industria de fertilizantes, ácido fosfórico como licor de lavado

Los dispositivos de lavado son fuentes de ruido que deben eliminarse, por ejemplo mediante el aislamiento del equipo.

### Monitorización [cww/tm/70]

La emisión de materia para evaluar la eficacia de un lavador húmedo puede determinarse monitorizando la concentración de partículas en la corriente de gas efluente, mediante una sonda de muestreo isocinética o medidores basados, por ejemplo, en opacidad a luz visible o rayos UV, rayos beta o impacto de partículas. La caída de presión a través del lavador y el caudal de líquido / reactivos y la presión de alimentación deben ser monitorizados de forma rutinaria. La relación líquido-gas, la velocidad de purga de líquido y el pH también requieren control regular. Los lavadores húmedos deben ser inspeccionados regularmente para determinar si hay algún deterioro en la planta, como corrosión o bloqueos. Debe haber fácil acceso al lavador.

### Economía

Los rangos de costes para lavadores de polvo húmedos se detallan en la Tabla 3.17. Los costes estimados se basan en una suposición de carga de entrada de unos 7 g/Nm<sup>3</sup>. Para aplicaciones que requieran materiales, disolventes o métodos de tratamiento caros, los costes reales pueden ser sustancialmente mayores que los rangos indicados. Por regla general, las unidades pequeñas que controlan una corriente de gas residual con una baja concentración de partículas serán más caras (por unidad de caudal) que una unidad grande que controle una corriente de gas residual con una elevada carga concentración de partículas.

#### 3.5.3.5. Filtro de mangas

### Descripción

En un filtro de mangas, el gas residual se hace pasar a través de un tejido o fieltro tupido, lo que hace que las partículas queden recogidas en el tejido por tamizado u otros mecanismos. Los filtros de mangas pueden tener forma de láminas, cartuchos o bolsas (el tipo más común) con una serie de unidades de filtro de mangas individuales juntas formando un grupo. La torta de polvo que se forma sobre el filtro puede aumentar considerablemente la eficacia de recogida.

Las condiciones operativas son importantes determinantes en la elección de los tejidos. En la Tabla 3.18 se muestran algunos tejidos de uso común.

**Tabla 3.18.**  
**Tejidos usados comúnmente**

Nombre genérico del tejido	Resistencia química a		Temperatura operativa continua en calor húmedo [°C]	Temp. operativa continua [°C]	Temp. máxima [°C]	El material soporta la combustión
	Acidos	Bases				
Poliéster	buena	regular	94	132	150	sí
Copolímero acrílico	buena	regular	110	120	130	no
m-Aramida	buena	buena	177	200	240	no
Sulfuro de polifenileno	excelente	excelente	190	190	232	no
Etilenclorotrifluoro-eteno	excelente	excelente	177	177	190	no
Politetrafluoreteno	excelente	excelente	260	260	290	no
Poliimida	buena	buena	240	260	280	no
Vidrio	muy buena	regular	260	260	290	no
Acero inoxidable	buena	excelente	550	550	600	no
Cerámico	muy buena	buena	760	760	1204	no

La aplicación práctica de los filtros de mangas requiere el uso de una gran superficie de tejido para evitar una caída de presión inaceptable a través de la carcasa del filtro, lo que produciría emisiones fugitivas de polvo. El tamaño de la casa de mangas (baghouse) para una unidad particular viene determinado por la elección de la relación entre el caudal volumétrico de aire y la superficie del tejido (relación  $a/c$ ). La selección de la relación  $a/c$  depende de la carga particular y de las características del método de limpieza empleado. Una alta carga de partículas requeriría el uso de una casa de mangas más grande para evitar que se formara una torta de polvo demasiado pesada, lo que producirá una caída de presión excesiva.

La intensidad y la frecuencia de limpieza son variables importantes a la hora de determinar la eficacia de eliminación. Dado que la torta de polvo puede proporcionar una fracción significativa de la capacidad de eliminación de partículas finas de un tejido, la limpieza demasiado frecuente o intensa reducirá la eficacia de eliminación. Si la eliminación es demasiado infrecuente o ineficaz, la caída de presión se hará demasiado alta.

Los tipos comunes de filtros de mangas atendiendo a su método de limpieza son:

- **Filtro de mangas con limpieza por aire (o chorro) inverso**, que utiliza un mecanismo de limpieza más suave pero en ocasiones menos eficaz que la agitación mecánica. Normalmente, las mangas están abiertas por el fondo y cerradas por arriba, con el polvo capturado en el interior o el exterior de las mangas. Para limpiar el filtro, se saca de la línea y se fuerza el paso de aire limpio a través del mismo en dirección opuesta, lo que hace que la torta de polvo caiga al interior de la tolva. El ciclo de limpieza típico dura menos de 5 minutos por compartimento. La limpieza por aire a contracorriente por sí sola se emplea sólo en casos en los que el polvo se suelta fácilmente del tejido. En muchos casos se utiliza en conjunción con agitación mecánica, pulsos o bocinas acústicas.
- **Filtro de mangas con limpieza por sacudidor mecánico**, utilizando un mecanismo simple y eficaz. El gas residual entra en un tubo de entrada equipado con una placa deflectora, en la que las partículas grandes son eliminadas al golpear la placa deflectora y caer en la tolva. El gas cargado es aspirado desde debajo de una placa celular en el suelo a los filtros de mangas y pasa del interior al exterior, siendo recogidas las partículas en la superficie interna de las mangas. Las partes superiores de las mangas están fijadas a una barra de sacudida, que se mueve bruscamente para limpiar las bolsas.
- **Filtros de mangas limpiados por pulsos de aire**, usando un método relativamente nuevo que puede tratar altas cargas de polvo, operar a una caída de presión constante y ocupar menos espacio que otros tipos de filtros de mangas. Sólo pueden operar como dispositivos de recogida de polvo externos. Las mangas están cerradas por el fondo, abiertas por arriba y soportadas por elementos de retención internos. El gas cargado fluye desde el exterior hasta el interior de las mangas, utilizando difusores para evitar que las partículas sobredimensionadas dañen las mangas; las partículas son recogidas en el exterior de las mangas y caen en la tolva. La limpieza por pulsos de aire significa la inyección de un pulso corto (0,03–0,1 segundos) de aire a alta presión (0,4–0,8 MPa) en las mangas. Este mecanismo asegura que el flujo de gas residual no tenga que pararse durante la limpieza. En los filtros de mangas por pulsos de aire de utilizan fieltros, es decir, no tejidos, ya que no necesitan torta de polvo para conseguir elevadas eficacias de recogida. Los tejidos suelen tener un alto grado de pérdidas de polvo tras la limpieza si se utilizan en filtros de mangas por pulsos de aire.

Las bocinas acústicas se utilizan cada vez más para mejorar la eficacia de recogida de los filtros con limpieza por sacudidor mecánico y por aire inverso. Operan con aire comprimido (0,3–0,6 MPa). La limpieza con bocina acústica reduce significativamente la caída de presión a través de las mangas del filtro en un 20–60 %, así como la tensión mecánica de las bolsas, lo que prolonga la vida útil.

La corrosión del filtro y el material de la carcasa puede ser un problema si la corriente gaseosa contiene componentes ácidos, especialmente a temperaturas por debajo del punto de rocío. Para los tejidos de filtro apropiados, ver Tabla 3.18

Otros parientes cercanos del filtro de mangas son:

- **El filtro compacto**, que se conoce como filtro de cartucho o filtro de envoltura, y es una versión del filtro de mangas. La diferencia está en la forma compacta en que está dispuesto el material de filtro. Es plisado, como un acordeón, para obtener una superficie de filtración específica mucho mayor. No obstante, el ahorro de espacio queda parcialmente anulado por la menor carga del tejido de este tipo de filtro.

- **El filtro compacto mejorado**, conocido también como filtro sintamatic o de láminas sinterizadas o tubo Spirot, es otra versión del filtro de mangas. Consiste en material sinterizado poroso con elementos de filtración plisados en el filtro sintamatic o de láminas sinterizadas, lo que proporciona una mayor vida útil y por lo tanto costes de mantenimiento reducidos.

La temperatura del gas debe estar por encima del punto de rocío de todos los componentes, ya que de lo contrario el filtro de mangas se obstruye y el proceso de filtración se interrumpe. Para evitar esto, es posible que haya que aislar y posiblemente calentar la casa de mangas.

Los sistemas con un elevado riesgo, como por ejemplo de explosión e incendio, deben estar equipados con instalaciones de seguridad, como una escotilla de explosión o sistema de aspersores. En el lado de entrada del filtro, debe haber un alivio de explosión que se abra a un lugar seguro, como el exterior de la nave. Puede requerirse una trampa para partículas muy calientes procedentes de calderas y hornos, con el fin de evitar incendios y por tanto daños en las mangas. Las chispas o llamas no deben admitirse.

### Aplicación

El filtro de mangas se utiliza principalmente para eliminar partículas de hasta  $<PM_{2.5}$  y contaminantes atmosféricos peligrosos en forma de partículas ( $PM_{HAP}$ ), como metales (excepto mercurio). En combinación con sistemas de inyección (incluida adsorción, inyección de bicarbonato sódico / cal seca e inyección de cal semiseca) corriente arriba de la casa de mangas, puede también aplicarse para eliminar contaminantes específicos.

Los filtros de mangas son útiles para recoger partículas con resistividades eléctricas demasiado bajas o altas para PE, por lo que son adecuados para recoger ceniza volante de carbón bajo en azufre o ceniza volante que contenga altos niveles de carbono sin quemar. Se ha observado que la adición de una casa de mangas corriente debajo de un PE permite conseguir emisiones de partículas muy bajas.

Cuando la carga del gas residual consiste en partículas relativamente grandes, pueden usarse colectores mecánicos corriente arriba como ciclones, PE o enfriadores por rociado, con el fin de reducir la carga de entrada al filtro de mangas, especialmente con elevadas concentraciones de entrada.

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Caudal típico de gas residual [Nm <sup>3</sup> /h]	300–1800000 <sup>1</sup>
Temperatura [°C]	Ver Tabla 3.18 Por encima del punto de rocío de cualquier condensable en la corriente de gas, de lo contrario el filtro queda cegado <70 (filtro compacto mejorado) <sup>2</sup>
Presión	Rango –6,4 a +6,4 kPa alrededor de la presión atmosférica <sup>1</sup>
Contenido de polvo [g/Nm <sup>3</sup> ]	1–23 (típico) <sup>1</sup> 0,1–230 <sup>1</sup>
Propiedades de las partículas	Los polvos pegajosos son difíciles de eliminar de las mangas, por lo que deben evitarse
Relación a/c <sup>a</sup> [m/min]	≤1 <sup>3</sup> (filtro de aire inverso)
	<0.5 <sup>3</sup> (filtro con sacudidor mecánico)
	1–1.5 (2.0) <sup>3 b</sup> (filtro de pulsos)
<sup>a</sup> recomendado para asegurar un funcionamiento correcto (ver arriba)	
<sup>b</sup> valor más elevado para configuraciones especiales	
<sup>1</sup> [cww/tm/123]	
<sup>2</sup> [cww/tm/70]	
<sup>3</sup> información personal	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>En general, los filtros de mangas ofrecen altas eficacias de recogida para partículas gruesas y finas.</li> <li>La eficacia y la caída de presión de los filtros limpiados continuamente se ven relativamente poco afectadas por grandes cambios en las cargas de polvo de entrada.</li> <li>El polvo se separa seco sin uso de consumibles. El polvo separado puede reutilizarse en el proceso anterior.</li> <li>Las emisiones residuales son virtualmente independientes de la concentración de entrada.</li> <li>Operación relativamente simple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No admite polvos húmedos o pegajosos.</li> <li>La electricidad estática puede impedir retirar la torta de la manga.</li> <li>Hay riesgo de explosión.</li> <li>Posibilidad de incendios en la casa de mangas si se emiten partículas muy calientes de hornos o debido a materias pirofóricas.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Para una determinada combinación de diseño de filtro y polvo, la concentración de partículas en el efluente de un filtro de mangas es casi constante, mientras que la eficacia global es más probable que varíe con la carga de partículas. Así, los filtros de mangas pueden considerarse dispositivos con salida constante más que dispositivos de eficacia constante.

Parámetro	Filtro de mangas		Filtro compacto		Filtro compacto mejorado	
	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]
MP	99-99,9 <sup>1</sup>	2-10 <sup>1</sup> 1 <sup>a 2</sup>		1-10 <sup>2</sup>		<1 <sup>2</sup>
<sup>a</sup> filtro cerámico <sup>1</sup> [cww/tm/123] <sup>2</sup> [cww/tm/70]						

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Filtro de mangas [m <sup>2</sup> por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	11-17	Relación a/c 1–1.5 m/min
Material de pre-recubrimiento (opcional)		Para polvo pegajoso o estático o como protección de las mangas
Aire comprimido [por 1000] <sup>a</sup> para 0,3-0,6 MPa (bocina acústica) para 0,4-0,8 MPa (pulsos de aire)	2–2,5 <sup>1</sup>	Limpieza del filtro
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	0,2–1,2 <sup>2</sup> 0,5–2,0	
Caída de presión [kPa]	0,5–2,5 <sup>2</sup>	Filtro de mangas
	0,5–1,8 <sup>1</sup>	Filtro compacto y filtro compacto mejorado
	5–50	Filtro cerámico
<sup>a</sup> Nm <sup>3</sup> /h de aire comprimido por 1000 Nm <sup>3</sup> /h de gas <sup>1</sup> [cww/tm/70] <sup>2</sup> [cww/tm/64]		

El polvo separado, posiblemente mezclado con material de pre-recubrimiento, es el único residuo. Su cantidad depende del contenido de polvo de la corriente de gas entrante. Según su origen, el polvo separado puede estar contaminado – por ejemplo, el polvo proveniente de incineración puede contener dioxinas y/o metales pesados y sus óxidos. Este tipo de polvo podría ser clasificado como residuo peligroso y debería desecharse como tal.

### Monitorización [cww/tm/79]

La eficacia y el mantenimiento deben monitorizarse minuciosamente. La emisión de materia para evaluar la eficacia de un filtro de mangas puede determinarse monitorizando la concentración de partículas en la corriente de gas residual efluente, utilizando una sonda de muestreo isocinética o un medidor basado en, por ejemplo, opacidad a luz visible / rayos UV, flujo triboeléctrico, rayos beta o impacto de partículas.

La temperatura y la caída de presión a través del filtro de mangas deben ser monitorizadas de forma rutinaria. La segunda se utiliza para indicar cuándo debe comenzar el ciclo de limpieza. Los filtros de mangas deben ser inspeccionados regularmente a fin de determinar cualquier deterioro en el tejido o la carcasa. Por ello, debe poder accederse al filtro de mangas. Cada casa de mangas debe estar equipada con un sistema de detección de fugas en mangas con alarma.

### Economía

La vida útil del material de filtro es de unos 5 años para el filtro de mangas y el filtro compacto, y de 8 años para el filtro compacto mejorado.

Tipo de costes	Costes				
	Aire inverso	Sacudidor mecánico	Pulsos	Compacto	Compacto mejorado
Inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	5300-50000 USD <sup>1</sup> 30000-55000 EUR <sup>c 4</sup>	4500-42000 USD <sup>2</sup>	3700-15000 USD <sup>3</sup>	1000-4000 EUR <sup>4</sup>	2500-4000 EUR <sup>4</sup>
Más bocina acústica	300-400 USD <sup>1</sup>	300-400 USD <sup>2</sup>	--		
Más equipo de chorro a contracorriente	600-1200 USD <sup>1</sup>	--	--		
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	4000-16000 USD <sup>1</sup> d <sup>4</sup>	2600-14000 USD <sup>2</sup>	3200-14000 USD <sup>3</sup>	a <sup>4</sup>	b <sup>4</sup>
Rentabilidad [por tonelada de contaminante]	58-372 USD <sup>1</sup>	41-334 USD <sup>2</sup>	46-293 USD <sup>3</sup>		
a 2500 EUR + 300 x caudal/1000 b 350 EUR + 240 x caudal /1000 c filtro cerámico d 350 + 300 x caudal/1000 <sup>1</sup> [cww/tm/123] <sup>2</sup> [cww/tm/121] <sup>3</sup> [cww/tm/122] <sup>4</sup> [cww/tm/70]					

Las estimaciones de costes suponen un diseño convencional en condiciones operaciones típicas y no incluyen equipo auxiliar como ventiladores y conducciones. Los costes están principalmente en función del caudal volumétrico y la carga de contaminantes de la corriente de gas residual. En general, una pequeña unidad que controle una baja carga de contaminantes no será tan rentable como una unidad grande que controle una alta carga de contaminantes. Los costes presentados son para caudales entre 3500 y 1700000 Nm<sup>3</sup>/h respectivamente, y una carga de contaminantes de 9 g/Nm<sup>3</sup>.

Los contaminantes que requieran un nivel de control inusualmente alto o que precisen que las mangas o la unidad en sí estén construidas en materiales especiales incrementarán los costes del sistema.

### 3.5.3.6. Filtración catalítica

#### Descripción

La filtración catalítica es la eliminación de componentes gaseosos acompañada de la separación de partículas. Su funcionamiento es comparable al de los filtros de mangas (ver Capítulo 3.5.3.5). La diferencia está en los materiales de filtro, ya que el filtro catalítico está cargado con un catalizador (sistema de titanio / vanadio) que destruye los contaminantes por reacción catalítica con el gas. El polvo separado es retirado y se desecha por separado.

El filtro catalítico consiste en una membrana de politetrafluoroeteno expandido (ePTFE), laminada sobre un sustrato de fieltro catalítico. El catalizador se inserta en el sustrato de fieltro. Se instala en forma de módulos en la casa de mangas, como se muestra en la Figura 3.82 [cww/tm/85], en un modo que permite su fácil integración en una planta existente.

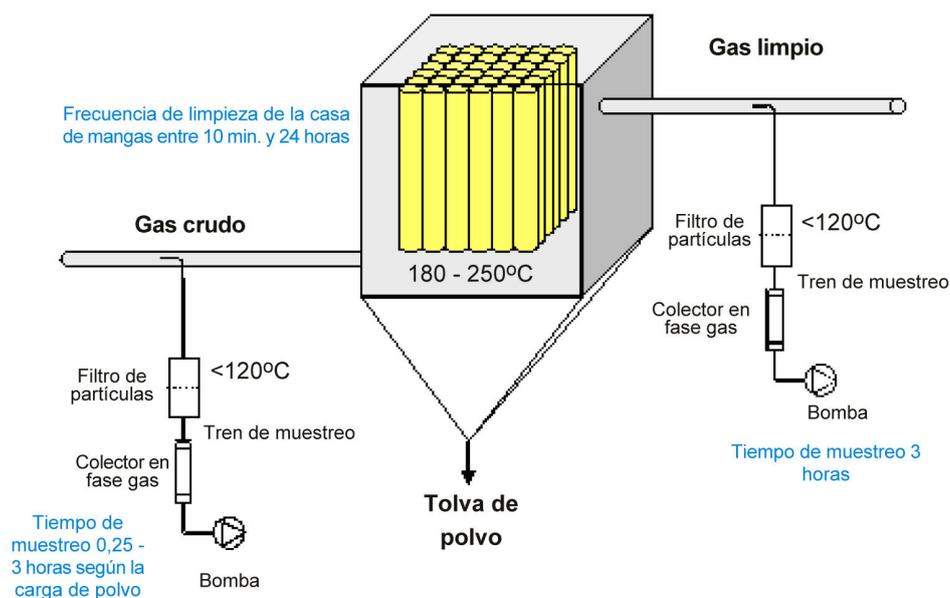


Figura 3.82. Casa de mangas de filtros catalíticos, incluidos trenes de muestreo

#### Aplicación

La filtración catalítica se utiliza para separar partículas y eliminar contaminantes peligrosos de la fase gaseosa. Los principales contaminantes a los que se aplica esta tecnología son dioxinas y furanos (PCDD y PCDF). Sin embargo, también pueden eliminarse otros contaminantes como hidrocarburos poliaromáticos (HAP), bencenos policlorados (PCBz) y bifenilos policlorados (PCB), COV y fenoles clorados (PCP).

Los límites y restricciones de aplicación son:

	Límites / restricciones
Rango de temperatura recomendado para operación continua	160–260 °C <sup>a</sup>
Contenido de amoníaco	<200 ppm
Contenido de óxidos de azufre	<50 ppm
Contenido de humedad	5–35 %
Velocidad de filtración	48–84 m/h
Sustancias críticas	Desactivación por arsénico, potasio, calcio, azufre

<sup>a</sup> El límite superior del rango de temperatura viene determinado por la temperatura operativa continua máxima del medio de filtro (260 °C). La temperatura operativa máxima recomendada es de 250 °C para evitar picos de temperatura excesiva. El límite inferior del rango de temperatura viene determinado por la temperatura a la que se destruyen adecuadamente dioxinas y furanos. Se han realizado ensayos con éxito a temperaturas tan bajas como 155 °C.

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción de componentes gaseosos peligrosos sin residuos contaminados.</li> <li>• Reducción en las emisiones totales de contaminantes peligrosos al medio ambiente.</li> <li>• Fácilmente adaptable a instalaciones existentes.</li> <li>• Sin costes operativos y de mantenimiento adicionales.</li> <li>• No hay residuos sólidos adicionales para desechar.</li> <li>• Sin cambio en los procedimientos operativos estándar.</li> <li>• Coste comparable al uso de carbón activado en polvo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restringido a una temperatura operativa continua máxima de 260 °C.</li> <li>• Aunque el filtro elimina compuestos orgánicos en general, y dioxinas y furanos de forma específica, a todas las temperaturas, se recomienda una temperatura operativa continua mínima de 155 °C para una destrucción adecuada de dioxinas y furanos. A temperaturas más bajas, son absorbidos sobre el catalizador.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión	Comentarios
Polvo		<1 mg/Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup>	Típico
PCDD/PCDF (TEQ)	>99 <sup>a,1</sup>	<0,004-0,040 ng/Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup> <0,075 ng/Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup>	Incineradores de residuos

<sup>a</sup> se ha observado hasta un 99,8 %

<sup>1</sup> información del fabricante

### Efectos sobre otros medios

El polvo separado – ceniza volante posiblemente mezclada con material absorbente de gases ácidos – es el único residuo que requiere desecho. El polvo filtrado contiene hasta un 90 % menos de dioxinas y furanos que cuando se utiliza carbón activado. El polvo es clasificado normalmente como residuo no peligroso.

Los principales servicios y consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Material de filtro		La vida útil del filtro y del catalizador es de unos 5 años o incluso más
Catalizador		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]		
Caída de presión [kPa]		

**Monitorización [cww/tm/79]**

La eficacia y el mantenimiento deben monitorizarse cuidadosamente. La emisión de materia para evaluar la eficacia del filtro puede determinarse monitorizando la concentración de partículas en la corriente de gas residual efluente, utilizando una sonda de muestreo isocinética o un medidor basado en, por ejemplo, opacidad a luz visible / rayos UV, rayos beta o impacto de partículas. La actividad del catalizador puede monitorizarse ensayando un filtro individual extraído de la casa de mangas. Si hay motivos para sospechar una caída en la actividad del catalizador, puede realizarse una monitorización de dioxinas y furanos a través de muestreo en chimenea.

La temperatura y la caída de presión a través del filtro de mangas deben ser monitorizadas de forma rutinaria. La segunda se utiliza para indicar cuándo debe comenzar el ciclo de limpieza. Los filtros de mangas deben ser inspeccionados regularmente a fin de determinar cualquier deterioro en el tejido o la carcasa. Por ello, debe poder accederse al filtro de mangas.

**Economía**

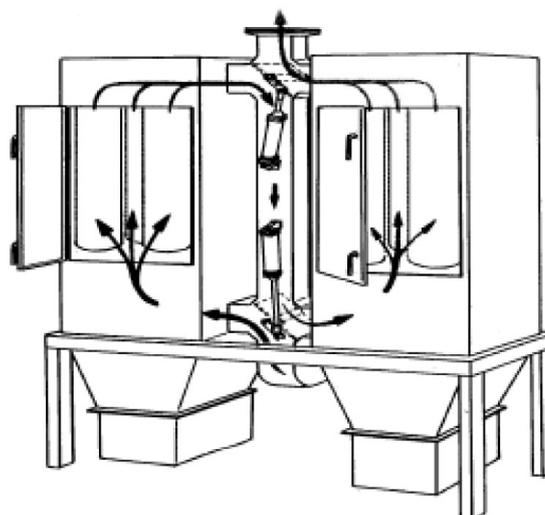
Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]		
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h de capacidad]		

**3.5.3.7. Filtro de polvo de dos etapas**

**Descripción**

El polvo de filtro de dos etapas contiene tela metálica como material de filtro. En la primera etapa se acumula una torta de filtro, y la filtración en sí tiene lugar en la segunda etapa. Según la caída de presión a lo largo del filtro, la segunda etapa se limpia y el sistema conmuta entre las dos etapas (el primer paso pasa a ser el segundo y viceversa). El sistema lleva integrado un mecanismo para eliminar el polvo filtrado. El polvo cae al fondo de la cámara, donde debe ser eliminado. En la Figura 3.83 [cww/tm/70] se muestra un ejemplo.

Dado que la tela metálica tiene una mayor capacidad de carga que un filtro de mangas, se requiere menos área de filtro (es decir, menos material de filtro). No obstante, esta ventaja queda normalmente cancelada por el sistema en dos etapas.



*Figura 3.83. Filtro de polvo de dos etapas*

Una variante especial es el filtro de tela metálica con proceso de reposición de torta, que se ilustra en la Figura 3.84 [cww/tm/168]. Este filtro está construido para evitar la pérdida de eficacia después de la limpieza, reponiendo la torta base antes de volver a colocar el elemento limpio en la corriente de gas. En funcionamiento normal, el filtro funciona sólo con algunas de las cámaras de filtro, y las otras quedan en espera (en el ejemplo, tres cámaras están en funcionamiento y la cuarta está en espera). El filtro continúa en este modo hasta que haya programado un ciclo de limpieza. Entonces, las cámaras en espera, previamente sometidas a limpieza y reposición de torta, entran en línea. Las cámaras que requieren limpieza se retiran de la línea y se aíslan para su limpieza por pulsos de aire, recogiendo el polvo en la tolva de polvo situada debajo. Una vez finalizado el proceso de limpieza, el gas cargado de polvo se hace circular al filtro recién limpiado sin dejarlo que vaya a la salida. Este modo permite reponer por completo la torta de filtro en el filtro limpio, mientras las otras cámaras se utilizan como filtros de refuerzo para controlar fugas. Una vez finalizada la reintegración de la torta, las cámaras cambian al modo de limpieza para sustituir las siguientes que requieran limpieza.

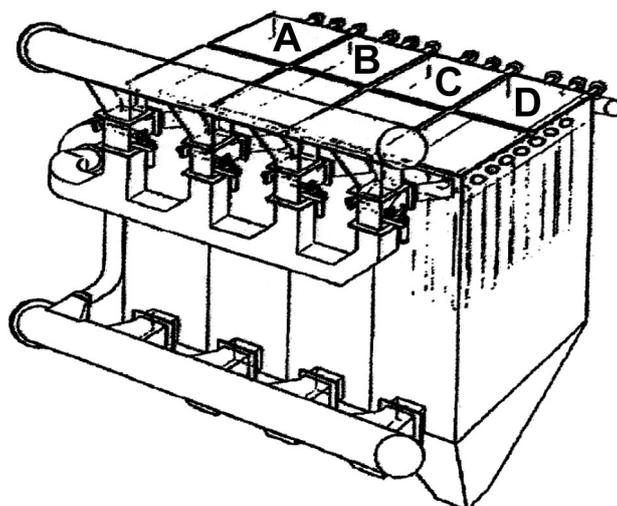


Figura 3.84. Filtro de tela metálica con proceso de reposición de torta

Los sistemas con riesgo elevado, por ejemplo de explosión e incendio, deben estar equipados con instalaciones de seguridad, como una escotilla de explosión o sistema de aspersores.

### Aplicación

El filtro de polvo en dos etapas se utiliza principalmente para eliminar partículas. En combinación con sistemas de inyección (incluyendo adsorción e inyección de cal semiseca), puede también usarse para eliminar contaminantes gaseosos específicos.

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual típico [Nm <sup>3</sup> /h]	Hasta 75000 por modulo <sup>1</sup>
Temperatura [°C]	Hasta unos 500 °C
Presión	Atmosférica <sup>1</sup>
Contenido de polvo [g/Nm <sup>3</sup> ]	Sin restricciones
<sup>1</sup> [cww/tm/70]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta eficacia para polvo.</li> <li>Permite la recuperación de sólidos.</li> <li>El aire ventilado puede reutilizarse como aire de admisión.</li> <li>Estructura modular.</li> <li>No requiere material de filtro adicional.</li> <li>Mayor carga de filtro que en un filtro de mangas o filtro compacto.</li> <li>También para polvo húmedo, pegajoso, fibroso o estático.</li> <li>Resistente a daños por incendio.</li> <li>Ofrece la posibilidad de recuperación de calor (cuando opera a temperaturas más altas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costes más elevados que los filtros de mangas y compactos, si se usan a temperatura ambiente.</li> <li>No válido para aplicaciones a temperatura elevada.</li> <li>Conmutación frecuente entre los dos compartimentos (normal en filtros de 2 etapas).</li> <li>Control por válvula necesario en un ambiente polvoriento.</li> <li>Riesgo de explosión.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

La emisión de polvo de un filtro de polvo de dos etapas con tela metálica como medio de filtro es virtualmente independiente de la carga de entrada.

Parámetro	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Comentarios
PM	≈ 1 <sup>1</sup>	Virtualmente independiente de la entrada
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Material de filtro (tela o malla metálica)		
Aire comprimido (0,3–0,7 MPa)		Limpieza del filtro
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	1,5 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	0,5-2,5 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

El polvo separado es el único residuo. Su cantidad depende del contenido de polvo del gas entrante. Según su origen, el polvo separado puede estar contaminado – por ejemplo, el polvo proveniente de incineración puede contener dioxinas y/o metales pesados y sus óxidos. Este tipo de polvo podría ser clasificado como residuo peligroso y debería desecharse como tal.

### Monitorización [cww/tm/79]

La eficacia y el mantenimiento deben monitorizarse cuidadosamente. La emisión de materia para evaluar la eficacia del filtro puede determinarse monitorizando la concentración de partículas en la corriente de gas residual efluente, utilizando una sonda de muestreo isocinética o un medidor basado en, por ejemplo, opacidad a luz visible / rayos UV, rayos beta o impacto de partículas.

La temperatura y la caída de presión a través del filtro de mangas deben ser monitorizadas de forma rutinaria. La segunda se utiliza para indicar cuándo debe comenzar el ciclo de limpieza. Los filtros de mangas deben ser inspeccionados regularmente a fin de determinar cualquier deterioro en el tejido o la carcasa. Por ello, debe poder accederse al filtro de mangas.

## Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	30000 EUR <sup>1</sup>	Basados en un sistema de 1700 Nm <sup>3</sup> /h
Costes operativos anuales	a	
Mano de obra [por año]	2000 EUR <sup>1</sup>	Unas 1,5 horas por semana
Servicios [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	350 EUR <sup>1</sup>	
<sup>a</sup> Los costes operativos anuales totales son 2000 + 350 x flujo/1000 EUR		
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

### 3.5.3.8. Filtro absoluto (Filtro HEPA)<sup>2</sup>

#### Descripción

El medio de filtración es papel o plancha de fibras de vidrio con una alta densidad de empaquetado. La corriente de gas residual se pasa a través del medio de filtro, en el que se recogen las partículas. La torta de polvo que se forma en el medio de filtro puede aumentar la eficacia de recogida. El medio de filtración es plisado para ofrecer una menor relación a/c (caudal volumétrico – superficie).

Los diseños más comunes son las celdas de filtración de caja y la celda de filtración cilíndrica. En una celda de caja, el medio plisado se coloca en una carcasa rígida y cuadrada construida de madera o metal. El aire fluye desde la parte delantera del filtro a la posterior. En una celda de filtración cilíndrica, una tapa de metal cierra el medio. El aire fluye desde el exterior al interior del filtro.

El filtro puede montarse directamente en el conducto o en un alojamiento independiente. Requiere prefiltración para partículas de gran diámetro, por lo que los sistemas de filtración HEPA son generalmente el componente final en un sistema de eliminación de partículas.

El número de celdas de filtración utilizado en un sistema particular viene determinado por la relación a/c, cuya selección se basa en las características de carga de partículas y la caída de presión a través del medio de filtración. La aplicación práctica de filtros con medios fibrosos requiere el uso de superficies grandes para minimizar la caída de presión a través del filtro. Los medios de filtración de papel y de no-tejido utilizados tienen una caída de presión a través del filtro que los tejidos utilizados en los filtros de mangas. Por este motivo, los filtros HEPA se utilizan principalmente para caudales de aire y cargas de partículas menores que los diseños de casas de mangas. Una vez el caudal a través del sistema de filtración disminuye hasta un punto inaceptable, el filtro debe ser sustituido. Generalmente no se limpian, ya que la acción de limpieza podría causar fugas del medio de filtración.

#### Aplicación

Los filtros HEPA son aplicables a partículas de tamaño por debajo de una micra entre PM<sub>0,12</sub> y PM<sub>0,3</sub> así como a contaminantes atmosféricos peligrosos en forma de partículas, como la mayoría de metales pesados (excepto mercurio).

Los filtros HEPA suelen aplicarse en situaciones en las que se requiere una alta eficacia de recogida de partículas de menos de una micra, cuando hay partículas tóxicas y/o peligrosas que no pueden limpiarse con otros filtros, por ejemplo material químico y biológico. Se instalan como el componente final de un sistema de recogida, corriente debajo de otros dispositivos como PE o filtros de mangas.

<sup>2</sup> **H**igh **E**fficiency **P**article **A**ir Filter = Filtro de partículas en aire de alta eficacia

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual [Nm <sup>3</sup> /h]	100-3600 por módulo <sup>1,2</sup>
Temperatura [°C]	<200 <sup>2</sup> (HEPA comercial) <530 <sup>2</sup> (relleno de cerámica o vidrio) por encima del punto de rocío del gas
Presión	Atmosférica <sup>1</sup>
Contenido de polvo [g/Nm <sup>3</sup> ]	1-30 <sup>2</sup> <2 <sup>3</sup>
Humedad relativa [%]	<95 <sup>2</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]	
<sup>2</sup> [cww/tm/106]	
<sup>3</sup> [cww/tm/64]	

Los filtros HEPA requieren prefiltración para eliminar las partículas grandes, como ciclones o lavadores venturi para reducir las partículas grandes, filtros de cartucho o casas de mangas estándar para filtrar las partículas >PM<sub>2.5</sub>.

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite la separación de fracciones muy pequeñas.</li> <li>• Eficacias muy altas con emisiones residuales muy bajas.</li> <li>• El aire de salida es muy limpio y puede recircularse dentro de la planta.</li> <li>• Estructura modular.</li> <li>• Insensible a fluctuaciones menores en la corriente de gas residual.</li> <li>• Operación relativamente simple.</li> <li>• Normalmente sin problemas de corrosión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay que tener cuidado con los riesgos de explosión.</li> <li>• Requiere mucho mantenimiento y cambio frecuente de filtros.</li> <li>• No adecuado para entornos húmedos.</li> <li>• Inadecuado para cargas de polvo elevadas.</li> <li>• El medio de fibra de vidrio no es adecuado para gases residuales que contienen álcalis.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]
PM		>0,0001 <sup>1</sup>
PM <sub>0,01</sub>	>99,99 <sup>2</sup>	
PM <sub>0,1</sub>	>99,9999 <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/64]		
<sup>2</sup> [cww/tm/106]		

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Material de filtro (ej. papel, fibra de vidrio)		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	<0,1 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	0,05–0,25 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

Los elementos de filtración cargados deben desecharse como residuo. Cada módulo puede absorber aproximadamente 1 kg de polvo.

### Monitorización [cww/tm/79]

La eficacia y el mantenimiento deben monitorizarse cuidadosamente. La emisión de materia para evaluar la eficacia del filtro puede determinarse monitorizando la concentración de partículas en la corriente de gas residual efluente, utilizando una sonda de muestreo isocinética o un medidor basado en, por ejemplo, opacidad a luz visible / rayos UV, rayos beta o impacto de partículas.

La temperatura y la caída de presión a través del filtro deben ser monitorizadas de forma rutinaria. Cuando la caída de presión alcance un punto que impida un flujo de aire adecuado, el filtro debe ser sustituido y desechado.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	1800-2400 USD <sup>1</sup>	
Costes operativos anuales	a <sup>2</sup>	Específicos de la aplicación
Costes de mano de obra anuales	2500 EUR <sup>2</sup>	Unas 2 horas por semana
Consumibles anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	60-120 EUR <sup>2</sup>	
a costes operativos anuales totales 2500 + 60 x caudal/1000 EUR		
<sup>1</sup> [cww/tm/106]		
<sup>2</sup> [cww/tm/70]		

#### 3.5.3.9. Filtro de aire de alta eficacia (HEAF) (High Efficiency Air Filter)

### Descripción

El filtro HEAF es un filtro en el que los aerosoles se combinan formando gotas. En el tejido del filtro quedan gotas de alta viscosidad, que eventualmente pueden obstruir el filtro. Cuando se alcanza un valor preseleccionado de diferencia de presión, el tejido del filtro debe ser sustituido por un filtro nuevo y limpio, que puede intercambiarse durante el funcionamiento continuo, ya que el tejido del filtro va sobre un rollo. El gas residual tratado sale del dispositivo de tratamiento a través de un filtro de neblina, que debe separar la capa arrastrada de gotas viscosas.

Además, se aplica un separador de gotas para gotas de baja viscosidad. El diseño del separador de gotas secundario puede ser del tipo de láminas (separador por inercia) o un filtro de neblina.

### Aplicación

Los filtros HEAF se aplican normalmente para eliminar aerosoles como aceite, plastificantes y COV condensables.

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual típico [Nm <sup>3</sup> /h]	hasta 25000 <sup>1</sup>
Presión	Atmosférica <sup>1</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Proceso continuo.</li> <li>Adecuado para gotas muy viscosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta caída de presión.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Comentarios
Gotas	99 <sup>1</sup>	
Aerosoles	99 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Material de filtro		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	<0,1 <sup>1</sup>	
Caída de presión [kPa]	8 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

Los residuos a desechar son los rollos de filtro cargados, que contienen los contaminantes separados como gotas, aerosoles y polvo. Deben ser desechados como residuos químicos o peligrosos, y normalmente se envían a incineración de residuos.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	5700 – 8000 EUR <sup>1</sup>	
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]		
Costes de mano de obra anuales	Aprox. 3000 EUR <sup>1</sup>	unas 2,5 horas por semana
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

#### 3.5.3.10. Filtro de neblina

##### Descripción

Los filtros de neblina más comunes (eliminadores de neblina, desnebulizadores) son las almohadillas de malla. Los filtros de almohadilla de malla consisten normalmente en material metálico o sintético tejido o tisado en una configuración aleatoria o específica, y operan como filtración en lecho profundo, que tiene lugar en toda la profundidad del filtro. Las partículas de polvo sólidas permanecen en el filtro hasta que está saturado, por lo que debe limpiarse mediante enjuague. Cuando se utiliza el filtro de neblina para recoger gotas y/o aerosoles, normalmente es autolimpiante, siendo enjuagado por el líquido. Funcionan mediante impacto mecánico y dependen de la velocidad. Los separadores con deflectores en ángulo son también utilizados comúnmente como filtros de neblina.

La base para la dimensión del filtro es el caudal del gas residual, el contenido de salida y la carga del filtro.

Los filtros de neblina están diseñados para eliminar tamaños de partículas específicos. Debido al potencial de obstrucción de las almohadillas de malla de alta eficacia, es necesario efectuar un lavado de forma regular. Si no se lava, los contaminantes pueden solidificarse en el interior de las almohadillas y además el enjuague de las mismas carecerá de eficacia.

La mayoría de filtros de neblina incorporan puertas para facilitar el acceso. Debe tenerse especial cuidado al reinstalar el medio de filtración en un recipiente, para asegurar que encajen debidamente y que no queden huecos entre el medio y las paredes del recipiente. Debido a la alta caída de presión a través de la almohadilla de malla, los huecos, por pequeños que sean, pueden crear una vía de paso para la corriente de gas evitando el filtro.

### Aplicación

Los filtros de neblina se utilizan para eliminar los contaminantes nebulosos, como gotas y aerosoles. Si el material filtrante se limpia in situ, también son aplicables a partículas sólidas solubles en líquidos. Debido a la posibilidad de obstrucciones, son menos adecuados para polvos sólidos y vapores grasientos. Protegen el equipo de las partículas de polvo sólido / líquido para prevenir el desgaste y la fricción de los cojinetes y los cuerpos de los soplantes.

Los filtros de neblina de alta eficacia pueden utilizarse como dispositivos primarios. Son una opción cada vez más viable por lo que respecta a la eficacia de eliminación, ahorro de agua y economía en muchos procesos que generan neblinas como ácido sulfúrico, compuestos de níquel, hidróxido sódico, ácido nítrico y compuestos de cromo. Se han ensayado con buenos resultados filtros de neblina de múltiples etapas para controlar emisiones de neblinas. La razón del uso de este tipo de filtros es recoger la mayoría de las partículas en la primera etapa, protegiendo con ello las etapas subsiguientes diseñadas para manejar las partículas más pequeñas. Una buena forma de conseguirlo es una unidad de tres o cuatro etapas, utilizando una configuración de monofilamento y huecos y reduciendo gradualmente el tamaño del monofilamento y de los huecos corriente abajo de una etapa a la siguiente. Cada etapa se enjuaga con agua fresca. Deben usarse cámaras de desagüe individuales para evitar que el agua de lavado con la mayor concentración de contaminante fluya a la siguiente etapa.

Como dispositivos secundarios. Los filtros de neblina se utilizan ampliamente como la etapa final de lavadores húmedos para evitar que la solución de lavado arrastrada sea llevada a la descarga de gas limpio a la atmósfera. Se sitúa un filtro de neblina en la parte superior de la columna para recoger las gotas, que se fusionan y vuelven a caer en la columna. El diseño del filtro de neblina es crítico si deben conseguirse bajas concentraciones de contaminantes (altas eficacias de control) y si deben reducirse las pérdidas de disolvente en absorbedores, lavadores o equipos de destilación.

Límites y restricciones de aplicación [cww/tm/70]:

	Límites / restricciones
Caudal de gas residual típico [Nm <sup>3</sup> /h]	Hasta 150000 <sup>1</sup>
Temperatura [°C]	<170 <sup>1</sup>
Contenido de polvo [mg/Nm <sup>3</sup> ]	<1 <sup>1</sup>
Aerosoles	Unos pocos g/Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]	

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas autolimpiantes para la recogida de líquidos.</li> <li>Adecuado para la filtración de aerosoles líquidos, y también como dispositivo primario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La limpieza del filtro produce un líquido de lavado contaminado.</li> <li>Alta caída de presión con partículas de polvo sólidas.</li> <li>Riesgo de obstrucción.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	Índice de eficacia [%]	Comentarios
Polvo	99 <sup>1</sup>	
Aerosoles	99 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

Los monofilamentos más pequeños y los huecos más tupidos en las almohadillas de malla aumentan la eficacia para eliminar las partículas más pequeñas (tamaños 1–33 µm), pero tienen un mayor potencial de obstrucción y requiere más cuidado y mantenimiento. La almohadilla de malla más eficaz tiene un diámetro de filamento y un tamaño de hueco lo bastante grande para minimizar el potencial de obstrucción y tienen una capacidad funcional de desagüe de líquido. Esta configuración de almohadilla de malla es normalmente eficaz en partículas de 5–10 µm de diámetro.

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son:

Consumible	Cantidad	Comentarios
Material de filtro		
Líquido de lavado		Para limpieza
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]		
Caída de presión [kPa]	2,5 <sup>1</sup>	Normal
	9,0 <sup>1</sup>	Cargas altas
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		

Los residuos a desechar son el líquido de lavado, que contiene polvo filtrado, y el material de filtro cargado. El líquido de lavado tiene que ser sometido a tratamiento de aguas residuales o se desecha como residuo, por ejemplo mediante incineración. Cuando el filtro de neblina se instala después de un lavador húmedo, el líquido de lavado se recicla normalmente al lavador.

### Monitorización

La caída de presión de cada etapa individual del filtro de neblina requiere monitorización, por ejemplo mediante un manómetro magnético o fotónico.

### Economía

Tipo de costes	Costes	Comentarios
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	2300 EUR <sup>1</sup>	Para sistemas pequeños hasta 2000 Nm <sup>3</sup> /h
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	a <sup>1</sup>	
Costes de mano de obra anuales	2500 EUR <sup>1</sup>	Unas 2 horas por semana
Consumibles [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	250-600 EUR	

<sup>a</sup> costes operativos totales anuales 2500 + 450 x caudal/1000 EUR

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### 3.5.4. Técnicas de recuperación y eliminación para contaminantes gaseosos en gases de escape

Los contaminantes en los gases de escape de los procesos a alta temperatura (ej. Oxidación térmica y catalítica) y procesos químicos son partículas y gases como dióxido de azufre, NO<sub>x</sub>, haluros de hidrógeno y, en condiciones especiales, dioxinas. Las partículas y el NO<sub>x</sub> en el gas de escape se eliminan (ver Sección 3.5.3 para partículas y 3.5.4.2 para NO<sub>x</sub>). No obstante, el cloruro de hidrógeno y el dióxido de azufre pueden recuperarse. El tratamiento del cloruro de hidrógeno y del sulfuro de hidrógeno suele seguir un proceso en dos etapas:

- Lavado húmedo con agua (ver Sección 3.5.1.4) para reducir el ácido clorhídrico concentrado.
- Varios procesos de desulfurización (ver Sección 3.5.1.4 y 3.5.4.1) para producir yeso o ácido sulfúrico.

A continuación se describen las técnicas comunes de tratamiento de gases de escape en el sector químico, además del lavado húmedo de gases (Secciones 3.5.1.4 y 3.5.3.4).

#### 3.5.4.1. Inyección de absorbentes como técnicas FGD<sup>3</sup>

##### Descripción

El principio de reacción de la inyección de absorbente FGD es la introducción y dispersión de material reactivo en la corriente de gas residual. Este material reacciona con las especies de SO<sub>x</sub> para formar un sólido que debe eliminarse posteriormente de la corriente de gas residual. Los absorbentes más usados son:

- Cal
- Carbonato ácido de sodio (bicarbonato sódico)
- Carbonato sódico (sosa comercial).

La elección del absorbente depende de su disponibilidad. En la mayoría de casos se trata de un material que se encuentra en la naturaleza, como piedra caliza, dolomita o compuestos hidratados derivados de estas materias primas.

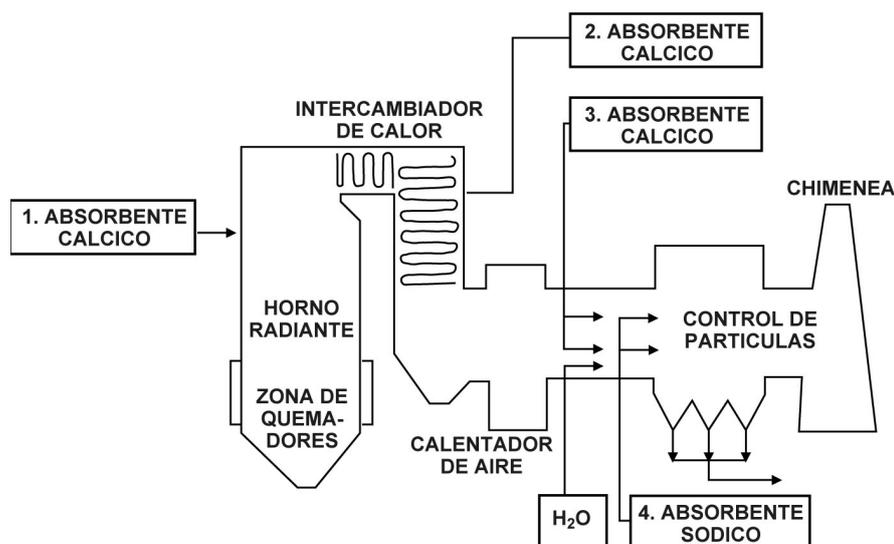
Estos absorbentes son también eficaces en la eliminación de otros gases ácidos, particularmente cloruro y fluoruro de hidrógeno. Si estos gases ácidos deben ser recuperados, el gas residual debe ser sometido a tratamiento previo (lavado con agua, ver Sección 3.5.1.4).

Hay tres tipos de técnicas de inyección de absorbentes:

- Inyección de absorbente seco.
- Inyección de absorbente semiseco.
- Inyección húmeda de lechada de cal.

En la **inyección de absorbente seco**, el absorbente en polvo fino se inyecta en la corriente de gas de combustión o se agrega a una columna de reacción, este último es el método más eficaz. Cuando el absorbente se inyecta en la corriente de gas, puede hacerse en varias posiciones según la temperatura y las condiciones en las que es más reactivo. Esto se ilustra en la Figura 3.85 [cww/tm/79].

<sup>3</sup> **F**lue **G**as **D**esulphurisation = Desulfurización de gas de combustión



*Figura 3.85. Inyección de absorbente seco para la eliminación de dióxido de azufre (posiciones de inyección)*

Las posiciones de inyección de uso común y los absorbentes adecuados son [cww/tm/79]:

- Inyección en horno de cal a temperaturas entre 1100 y 1250 °C.
- Inyección en intercambiador de calor de cal apagada a temperaturas de unos 550 °C.
- Inyección después del horno de cal apagada a una humedad relativamente alta a temperaturas de 5–15 °C por encima de la saturación del gas de combustión.
- Inyección después del horno de compuestos a base de sodio, por ejemplo bicarbonato sódico, entre el intercambiador de calor y el dispositivo de eliminación de partículas, a un rango de temperatura entre 130 y 180 °C o, si el medio de filtración lo permite, hasta 400 °C.

En la **inyección de absorbente semiseco**, el absorbente se agrega como suspensión o solución (gotas) en una cámara de reacción de modo que el líquido se evapore continuamente durante la reacción. El resultado es un producto seco, recogido en la base de la cámara o en un dispositivo de eliminación de partículas. La técnica se ilustra en la Figura 3.86 [cww/tm/79] con un filtro de mangas como elemento de eliminación, que puede ser sustituido por un PE.

El sistema semiseco consta de:

- El secador por rociado, es decir atomizador y cámara de reacción (una columna o conducto, con las gotas y el gas de combustión circulando a cocorriente).
- El equipo asociado para lechada / líquido (lechadas de cal o soluciones de carbonato o bicarbonato sódico).
- Un dispositivo de recogida de partículas.
- Un dispositivo de reciclaje de partículas.

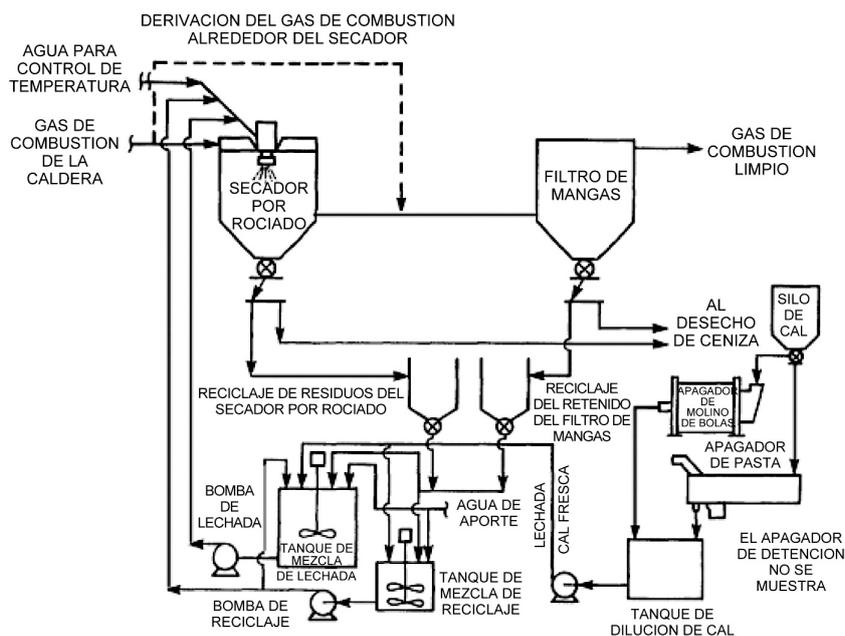


Figura 3.86. Sistema FGD por rociado o semiseco

En la **inyección húmeda**, el SO<sub>2</sub> se elimina del gas de combustión en el absorbedor FGD mediante contacto directo con una suspensión acuosa de caliza finamente molida (lechada de cal), tras haber salido del sistema de control de partículas y haber pasado a través de un intercambiador de calor. El gas de combustión lavado pasa a través de un eliminador de neblinas y es emitido a la atmósfera por una chimenea o torre de refrigeración. Los productos de reacción son retirados del absorbedor y enviados para deshidratación y proceso ulterior.

El proceso se divide en:

- Absorción de SO<sub>2</sub> mediante lavado líquido a un pH de 4-5,5, siendo el producto primario bisulfito cálcico [Ca(HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]
- Oxidación del bisulfito a sulfato.
- Cristalización del yeso formado (CaSO<sub>4</sub> · 2 H<sub>2</sub>O).
- Separación de los cristales de yeso de la solución.

La técnica se ilustra en Figura 3.87.

La parte sólida del ciclo del lavador es principalmente yeso con una concentración de 100-120 g/l. Las unidades de incineración modernas operan con una mezcla bastante rica, ya que el contenido de oxígeno del gas de combustión no suele ser suficiente para completar la oxidación del bisulfito, que requiere la inyección de aire en el sumidero del lavador. Para evitar el ensuciamiento del canal de gas limpio, las unidades FGD van normalmente equipadas con eliminadores de neblina.

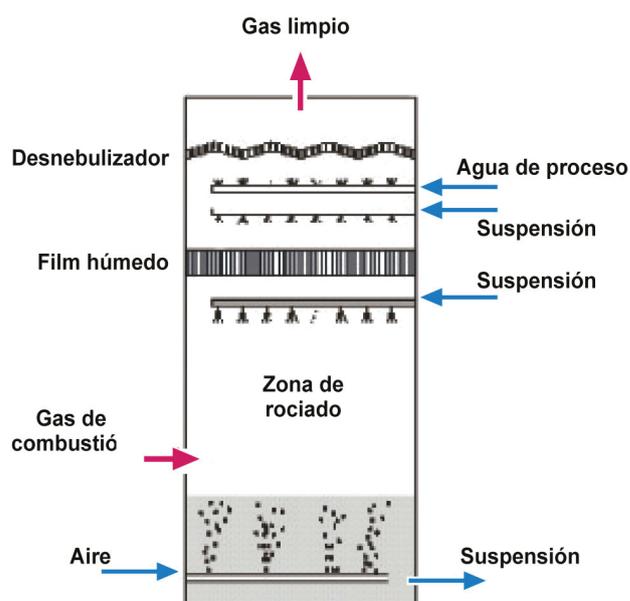


Figura 3.87. Sistema FGD húmedo. Lavador de lechada de cal.

El nivel de desulfurización depende de la relación entre líquido y gas (L/G). La turbulencia transversal entre líquido y gas puede aumentarse con elevadas velocidades de la corriente de gas, con las cuales se mejora la transferencia de materia y –por consiguiente– el nivel de desulfurización. Por otra parte, es característico de las unidades de cocorriente que las altas velocidades de gas reducen el tiempo de residencia y por consiguiente el nivel de desulfurización.

Para reducir la concentración de cloruro en el líquido de lavado por debajo de 30 g/l, parte del mismo se separa del proceso y se trata para eliminar metales pesados y DQO. Se agrega lechada de cal fresca para sustituir la cantidad purgada.

El gas de combustión tratado sale de la unidad FGD en un estado más o menos saturado. Para asegurar que se rebase el punto de rocío, normalmente se requiere una etapa de recalentamiento (normalmente un precalentador de gas regenerativo) y suficiente tiro ascendente en la chimenea o torre de refrigeración.

Las técnicas adecuadas de eliminación de partículas de sistemas secos y semisecos son PE o filtros de mangas. Si se utilizan filtros de mangas, el gas de combustión normalmente requiere enfriamiento, mediante intercambiador de calor o aire de refrigeración, para mantener la temperatura por debajo de 200 °C (excepto para tejidos adecuados para temperaturas más altas, como cerámica o tela/malla metálica).

La temperatura a la que se consigue la máxima eficacia de eliminación varía de un componente a otro. Además, la reactividad de los distintos contaminantes del gas residual es distinta y hay reacciones en competencia entre las distintas especies, especialmente si la relación entre reactivo y gases ácidos es relativamente baja. Por consiguiente, los distintos grados de absorción dependen de la cantidad específica de agente de absorción, de la composición del gas residual (como contaminantes, humedad, contenido de oxígeno) y de la temperatura de reacción. Los grados de absorción debidos a la naturaleza de la reacción gas / sólido dependen mucho de la superficie específica activa del absorbente y del tiempo de reacción. Por consiguiente, normalmente es necesario que haya una proporción de absorbente superior al valor estequiométrico.

Los índices de eliminación de especies como HCl y SO<sub>2</sub> disminuyen rápidamente al bajar la temperatura, y alcanzan un mínimo en el rango entre 200 y 280 °C. Por debajo de 200 °C, los índices de eliminación aumentan y permiten conseguir buenos resultados para la mayoría de contaminantes.

**Aplicación**

La inyección seca y semiseca de absorbentes se utiliza normalmente para reducir las emisiones de gases ácidos. La variante seca es también adecuada para plantas pequeñas o para aplicaciones de modernización en las que los costes de inversión para otros sistemas serían demasiado altos. Para reducir otros contaminantes, puede agregarse carbón granulado (GAC) al absorbente seco.

Límites y restricciones de aplicación [cww/tm/70]:

	<b>Límites / restricciones</b>
Caudal de gas residual típico [Nm <sup>3</sup> /h]	10000–300000 (absorbente seco)
	hasta 1000000 <sup>1</sup> (absorbente semiseco)
	50-500000 <sup>1</sup> (absorción húmeda)
Concentración de SO <sub>x</sub>	Rango amplio
Concentración de haluros de hidrógeno	Rango amplio
<sup>1</sup> [cww/tm/70]	

Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Variante con absorbente seco</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No se requieren instalaciones adicionales, ya que normalmente hay instalado un sistema de eliminación de polvo.</li> <li>Alta eficacia si hay instalada una torre o cámara de reacción bien diseñada.</li> <li>Bajo coste en comparación con otros.</li> </ul>	<p><u>Variante con absorbente seco</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El absorbente agregado puede, interaccionado con ceniza volante, causar ensuciamiento de las superficies del intercambiador de calor.</li> <li>Gran exceso de absorbente que debe desecharse.</li> </ul>
<p><u>Variante con absorbente semiseco</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación relativamente simple.</li> <li>Más económica que el lavado húmedo.</li> <li>No se produce agua residual.</li> </ul>	<p><u>Variante con absorbente semiseco</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baja eficacia de separación de partículas en la cámara de reacción.</li> <li>La humedad puede ser una perturbación, si se utiliza un filtro de mangas como eliminación subsiguiente de partículas.</li> </ul>
<p><u>Variante con absorbente húmedo</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eficacias muy altas.</li> <li>Equipo compacto.</li> <li>Puede operar a temperaturas relativamente altas (50-80 °C).</li> <li>Monitorización indirecta mediante la dosificación estequiométrica de agentes químicos (si se controla por pH).</li> <li>Producto reutilizable, si se utiliza cal (yeso).</li> </ul>	<p><u>Variante con absorbente húmedo</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se genera agua residual.</li> <li>Elevado consumo de agua, en comparación con la variante seca y semiseca.</li> </ul>

Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Como se ha indicado anteriormente, las reducciones alcanzadas dependen de distintos factores, como la temperatura del gas, la relación molar entre absorbente y contaminante, y la dispersión del absorbente. En las Tabla 3.19 a la Tabla 3.22 se indican diversas eficacias en diversas condiciones.

**Tabla 3.19. Índices de eficacia de absorción seca con cal como absorbente a distintas temperaturas y sistemas de eliminación de polvo**

Contaminante	Índice de eficacia [%]		
	PE		Filtro de mangas
	Aprox. 400 °C	200–280 °C	130–240 °C
SO <sub>2</sub>	50	10	10
SO <sub>3</sub>	80	90	95
HCl	70	35	80
HF	95	95	95

Ref.: Directrices VDI 2578, Nov. 1997

**Tabla 3.20. Índices de eliminación de SO<sub>x</sub> por absorción seca con cal a distintos rangos de temperatura y relaciones molares Ca/S**

Relación molar Ca/S	Índice de eliminación de SO <sub>x</sub> [%]	
	130–140 °C	170–180 °C
1	30	22
2	50	40
3	70	55

Ref.: Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME 1999

Tabla 3.21. Índices de eliminación de SO<sub>x</sub> por absorción seca con cal con distintas relaciones molares Ca/S

Relación molar Ca/S	Índice de eliminación de SO <sub>x</sub> [%]
1	80
1.5	90
2	92

Ref.: Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME 1999

Tabla 3.22. Índices de eliminación para absorción seca y semiseca con carbonato sódico

Contaminante	Índices de eliminación [%]	
	Absorción seca <sup>a</sup>	Absorción semiseca
SO <sub>2</sub>	<50	90-95
SO <sub>3</sub>	90	
HCl	50-75	>90
HF	10-40	>85

<sup>a</sup> rango de temperatura 300-400 °C

En condiciones normales, los niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables son:

Contaminante	Absorción seca		Absorción semiseca		Absorción húmeda	
	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión <sup>a</sup> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]
SO <sub>x</sub>	40-80 <sup>1b</sup>	<40	85->90 <sup>1,2</sup>	<40	90-97 <sup>c</sup>	<40 <sup>2</sup>
HCl		<10 <sup>2</sup>	>99 <sup>1</sup>	<10 <sup>2</sup>		<10 <sup>2</sup>
HF		<1 <sup>2</sup>		<1 <sup>2</sup>		<1 <sup>2</sup>

<sup>a</sup> niveles de emisión alcanzables, aunque normalmente la absorción seca no se utiliza para concentraciones tan bajas, en las que la absorción o el lavado húmedo sería la técnica preferida.

<sup>b</sup> el uso de filtros de manga puede aumentar la eficacia de eliminación en alrededor de un 10 % <sup>1</sup>

<sup>c</sup> depende de la relación L/G (90 % a 8 l/Nm<sup>3</sup>, 95 % a 14 l/Nm<sup>3</sup>, 97 % a 20 l/Nm<sup>3</sup>)

<sup>1</sup> [cww/tm/79]

<sup>2</sup> [cww/tm/70]

Se ha reportado un efecto sobre las emisiones de NO<sub>x</sub> cuando se utiliza carbonato o bicarbonato sódico en el proceso semiseco, para el carbonato ácido de sodio el rango óptimo está entre 120 y 160 °C. La eficacia depende de la relación SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>. El índice de eliminación se ve favorecido por una alta relación y temperaturas moderadas [BREF sobre la Industria de Fabricación de Vidrio, 2000].

### Efectos sobre otros medios

Consumible	Cantidad		
	Absorción seca	Absorción semiseca	Absorción húmeda
Absorbente <sup>a</sup> [relación molar Ca/S]	3 y más (para cal)	1,5-3 (para cal)	<1,1 <sup>1</sup>
Agua <sup>b</sup> [l/Nm <sup>3</sup> ]	-	0,027-0,04 <sup>2</sup>	8-20 <sup>c</sup>
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]	Depende del sistema de eliminación de polvo	1 <sup>3</sup>	
Caída de presión [kPa]	Depende del sistema de eliminación de polvo	2,5 <sup>3</sup>	

<sup>a</sup> el bicarbonato sódico requiere un exceso considerablemente menor

<sup>b</sup> relación L/G

<sup>c</sup> 8 l/Nm<sup>3</sup> corresponde a una desulfurización del 90 %, 14 l/Nm<sup>3</sup> al 95 % y 20 l/Nm<sup>3</sup> al 97 %

<sup>1</sup> [cww/tm/132]

<sup>2</sup> [cww/tm/79]

<sup>3</sup> [cww/tm/70]

En el caso de absorción seca y semiseca, el residuo es una mezcla del absorbente original y los productos de reacción y, si no puede recuperarse o reciclarse, debe desecharse. Se incluyen todos los contaminantes que no hayan sido destruidos durante el proceso de incineración, como compuestos de metales pesados y/o dioxinas, según la entrada de la instalación de incineración. A veces el polvo se recicla parcialmente.

En la absorción húmeda, el residuo es yeso de alta pureza (>99 % CaSO<sub>4</sub> en el sólido) [cww/tm/132], que puede utilizarse en otras partes.

### Monitorización [cww/tm/79]

La eficacia del sistema de inyección seca y semiseca de absorbente se examina determinando la concentración de gas ácido y las eficacias de eliminación de partículas.

La temperatura y la caída de presión (y la relación líquido / gas en la variante semiseca) se monitorizan rutinariamente a través del filtro (de mangas). Cuando se utiliza un PE, se monitoriza la intensidad de corriente eléctrica y la intensidad de campo, para tener un aviso de cualquier fallo en el dispositivo de eliminación de partículas.

### Economía

Tipo de costes	Costes		
	Absorción seca	Absorción semiseca	Absorción húmeda
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]		EUR 11000 <sup>1 c</sup>	
Costes operativos anuales [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	a <sup>1</sup>	d <sup>1</sup>	
Costes anuales de mano de obra	2500 EUR <sup>1 b</sup>	EUR 20000 <sup>1 e</sup>	
Costes anuales de servicios	EUR 150 + absorbente <sup>1</sup>	EUR 250 + absorbente <sup>1</sup>	

<sup>a</sup> costes operativos totales anuales 2500 + 300 x caudal/1000 EUR + absorbente  
<sup>b</sup> estimación 2 horas por semana  
<sup>c</sup> basado en 100000 Nm<sup>3</sup>/h  
<sup>d</sup> costes operativos totales anuales 20000 + 400 x caudal/1000 EUR + absorbente  
<sup>e</sup> estimación 1 día por semana  
<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### 3.5.4.2. Reducción selectiva de NO<sub>x</sub> (RNCS y RCS)<sup>4</sup>

#### Descripción

La reducción selectiva de NO<sub>x</sub> comporta la inyección de compuestos tipo NH<sub>2</sub>-X (con X = H, CN o CONH<sub>2</sub>) en la corriente de gas de combustión, reduciendo los óxidos de nitrógeno a nitrógeno y agua. El agente de reducción de uso más común es una solución acuosa de amoníaco al 35 % o amoníaco puro. Otros agentes son soluciones de urea, nitrocal o cianamida.

Has distintas variantes de reducción selectiva de NO<sub>x</sub>:

- Reducción no catalítica selectiva (RNCS)
- Reducción catalítica selectiva (RCS)

En la **RNCS**, el agente de reducción se inyecta en la zona en la que los gases de escape han alcanzado una temperatura entre 930 y 980 °C, mientras que la urea se inyecta en una zona en la que la temperatura del gas está entre 950 y 1050 °C. La inyección ocurre tras la combustión y antes de otro tratamiento. La relación molar NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> y el tiempo de residencia son los parámetros principales para una óptima eficacia de reducción. Las temperaturas por debajo del nivel indicado hacen que se emita amoníaco sin convertir (des-

<sup>4</sup> Reducción No Catalítica Selectiva y Reducción Catalítica Selectiva

prendimiento de amoníaco); las temperaturas considerablemente por encima del nivel oxidan el amoníaco a  $\text{NO}_x$ . La RNCS se hace operar en un rango de relación molar de  $\text{NH}_3/\text{NO}_x$  de 0,5–0,9. A niveles más altos (>1,2) también puede producirse desprendimiento de amoníaco, generando aerosoles de cloruro y sulfato amónico, que pasan a través del filtro y pueden causar penachos blancos visibles por encima de la chimenea de salida del gas de escape. El tiempo de residencia y la calidad de mezcla son decisivos para la eficacia de reacción. Un tiempo de residencia demasiado corto causa desprendimiento de amoníaco.

En la RCS, la corriente de gas de escape y el agente inyectado se pasan sobre un catalizador, con temperaturas de operación entre 200 y 500 °C, según el catalizador. Es vital una óptima mezcla, es decir una correcta relación molar de  $\text{NH}_3/\text{NO}_x$ , sobre el catalizador. El nivel de relación molar se suele mantener por debajo de 1,1 para limitar el potencial de desprendimiento de amoníaco.

Las temperaturas considerablemente más bajas en comparación con la RNCS hacen posible la instalación de la RCS corriente abajo de otros dispositivos de tratamiento como eliminadores de polvo y FGD. En este proceso Denox “en frío”, se agrega una mezcla de aire (para controlar el contenido óptimo de oxígeno) y amoníaco después del FGD. La corriente de gas de combustión desulfurizado debe ser recalentada a la temperatura de reacción necesaria. La ventaja de este procedimiento es que, como no hay absorción al polvo, no hay potencial de desprendimiento de amoníaco.

El equipo de RNCS y RCS consiste en:

- Tanque de almacenaje de amoníaco acuoso (u otros agentes)
- Vaporizador
- Un suministro de gas portador, que puede ser vapor o aire comprimido
- Boquillas de inyección
- Lecho de catalizador (RCS).

Los principales componentes de los catalizadores son dióxido de titanio con compuestos de vanadio, tungsteno y molibdeno.

Hay otras técnicas que tratan dióxido de azufre y  $\text{NO}_x$  en operaciones consecutivas o simultáneas, [cww/tm/50]:

- Proceso Desonox, en el que el gas de combustión sin polvo se mezcla con amoníaco y pasa a 450 °C sobre un catalizador para reducir el  $\text{NO}_x$  y luego sobre un catalizador para convertir el  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$ , que reacciona formando ácido sulfúrico.
- Absorción de NO (el 90 % de los  $\text{NO}_x$  en el gas de combustión es NO) y  $\text{SO}_2$  con quelatos (para complejar el NO) en soluciones de bicarbonato sódico y reacción redox del complejo de NO con sulfito para dar nitrógeno gas.

### Aplicación

La RNCS y la RCS se utilizan para eliminar óxidos de nitrógeno de procesos como producción de compuestos químicos, hornos de combustión o de proceso. En la RCS hay disponibles configuraciones con alto nivel de polvo, con bajo nivel de polvo y de final de cola (“tail end”).

Límites y restricciones de aplicación:

	Límites / restricciones	
	RNCS	RCS
Caudal de gas residual típico [Nm <sup>3</sup> /h]	>10000	Hasta 1000000 <sup>1</sup>
Concentración de $\text{NO}_x$	del orden de g/Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup>	del orden de g/Nm <sup>3</sup> <sup>1</sup>
Temperatura [°C]	800–1100 (según el agente)	200–500 (según el catalizador)
Presión	atmosférica <sup>1</sup>	atmosférica <sup>1</sup>
Tiempo de residencia [s]	1–2	
Relación molar $\text{NH}_3/\text{NO}_x$	<1,2	<1,1

<sup>1</sup> [cww/tm/70]

### Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<p><u>Generales</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tanto la RNCS como la RCS son técnicas generalmente probadas.</li> </ul>	<p><u>Generales</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La seguridad es de importancia capital cuando se utilizan sistemas de amoníaco líquido.</li> </ul>
<p><u>RNCS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En condiciones correctas se consigue una buena reducción de NO<sub>x</sub>.</li> <li>Instalación relativamente simple, aunque se requiere mucho know-how para situar correctamente los inyectores de amoníaco.</li> <li>Bajos costes de inversión en comparación con alternativas.</li> <li>Bajo consumo de energía.</li> </ul>	<p><u>RNCS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se requiere una temperatura elevada.</li> <li>Las cenizas volantes contienen amoníaco.</li> <li>Fuera del rango de condiciones óptimas (temperatura, relación NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub>, tiempo de residencia) se desprende amoníaco o aumenta la emisión de NO<sub>x</sub>.</li> </ul>
<p><u>RCS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eficacia muy alta de reducción de NO<sub>x</sub>, mayor que con la RNCS, y menores emisiones de NO<sub>x</sub>.</li> <li>Reduce los NO<sub>x</sub> de todas las fuentes, no sólo de gases de combustión.</li> <li>Baja temperatura y por lo tanto bajo consumo de energía de calentamiento.</li> <li>Debido al menor contenido de polvo, menos desprendimiento de amoníaco con la ceniza volante que con la RNCS.</li> </ul>	<p><u>RCS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fuera del rango de condiciones óptimas (temperatura, relación NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub>, tiempo de residencia) se desprende amoníaco o baja la eficacia de destrucción de NO<sub>x</sub>.</li> <li>Caída de presión considerable.</li> <li>Requiere mucho espacio.</li> <li>Costes de inversión relativamente altos en comparación con la RNCS.</li> </ul>

### Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

Parámetro	RNCS		RCS	
	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Índice de eficacia [%]	Nivel de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ]
NO <sub>x</sub> (calderas / calentadores a gas)	40-70	150-200	90-94	<20
NO <sub>x</sub> (calderas / calentadores con combustible líquido)	40-70	150-300	90-94	55-150
NO <sub>x</sub> (de producción de ácido nítrico)	-	-	80-97 <sup>1</sup>	74-100 <sup>3</sup>
NH <sub>3</sub>		<5 <sup>2</sup>		<5 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> información de un valor más bajo de Holanda, extremo superior [cww/tm/137]  
<sup>2</sup> mediciones en Austria; valor para catalizadores nuevos, pero se registran emisiones de NH<sub>3</sub> más altas a medida que envejece el catalizador.  
<sup>3</sup> información con un valor más bajo de Holanda, valor superior [cww/tm/157 a]

### Efectos sobre otros medios

Los consumibles son :

Consumible	Cantidad	
	RNCS	RCS
Amoníaco [kg/tonelada de NO <sub>x</sub> eliminada]	570 <sup>1</sup>	370-450 <sup>1,2</sup>
Vapor para evaporar amoníaco (de la solución acuosa)		
Energía [kWh/1000 Nm <sup>3</sup> ]		
Caída de presión [kPa]	-	0,1-1 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> [cww/tm/70]  
<sup>2</sup> información del valor superior de Italia

El catalizador tiene una vida útil en condiciones regulares de 5-10 años, o >10 años cuando se trabaja con gas residual limpio, por ejemplo gas residual de plantas de ácido nítrico. Después de este tiempo, no puede regenerarse, sino que normalmente es reciclado por el fabricante.

### Monitorización

La eficacia de los sistemas de RNCS / RCS puede monitorizarse analizando el contenido de óxidos de nitrógeno antes y después del tratamiento, así como el contenido de amoníaco y oxígeno de la corriente de gas efluente.

La temperatura y la caída de presión (en la RCS) son monitorizadas de forma continua.

### Economía

Tipo de costes	Costes	
	RNCS	RCS
Costes de inversión [por 1000 Nm <sup>3</sup> /h]	2300–3900 EUR <sup>1</sup>	7500–32000 EUR <sup>1</sup>
Costes operativos [por tonelada de NO <sub>x</sub> eliminada]	700–1200 EUR	500–5000 EUR <sup>1,2</sup>
<sup>1</sup> [cww/tm/70]		
<sup>2</sup> [comentario]		

El parámetro de rentabilidad en el caso de la RNCS es el consumo de amoníaco o urea; en el caso de la RCS es el catalizador. La adaptación de la RNCS es relativamente fácil, ya que los únicos equipos que hay que instalar son los elementos de inyección y el tanque de almacenaje para el agente. La adaptación de la RCS puede requerir modificaciones radicales de la instalación existente y por lo tanto exigir elevados costes de inversión.

# Capítulo 4.

## Mejores técnicas disponibles para el tratamiento / Gestión de aguas / Gases residuales en el sector químico

### 4.1. Introducción

Para entender este capítulo y su contenido, se llama de nuevo la atención del lector al prefacio de este documento y en particular a la sección quinta del prefacio: "Cómo entender y utilizar este documento". Las técnicas y los niveles de emisiones y/o consumo asociados, o los rangos de niveles, presentados en este capítulo se han determinado con un proceso iterativo que implica los pasos siguientes:

- Identificación de los aspectos medioambientales claves para el sector;
- Examen de las técnicas más relevantes para tratar estas cuestiones claves;
- Identificación de los mejores niveles de comportamiento medioambiental, en base a los datos disponibles en la Unión Europea y en todo el mundo;
- Examen de las condiciones bajo las cuales se han alcanzado estos niveles de comportamiento; por ejemplo costes, efectos sobre otros medios, motivos principales implicados en la aplicación de estas técnicas;
- Selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de los niveles asociados de emisión y/o consumo para este sector en general, todo según el Artículo 2(11) y el ANEXO IV de la Directiva.

El juicio experto de la Oficina Europea de IPPC y del Grupo de Trabajo Técnico (WG) relevante ha desempeñado un papel clave en cada uno de estos pasos y en la forma en que se presenta la información.

En base a esta evaluación, en este capítulo se presentan las técnicas, y en la medida de lo posible los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD, que se consideran apropiadas para el sector en su conjunto, y que en muchos casos reflejan el funcionamiento actual de algunas instalaciones dentro del sector. Cuando se presentan niveles de emisiones o consumo "asociados con las mejores técnicas disponibles", debe entenderse que esto significa que tales niveles representan el funcionamiento medioambiental que se podría prever como resultado del uso, en este sector, de las técnicas descritas, teniendo en cuenta el balance de los costes y de las ventajas inherentes dentro de la definición de MTD. Sin embargo, no son valores límite de emisiones ni de consumo, y no deben ser entendidos como tales. En algunos casos puede ser técnicamente posible alcanzar niveles mejores de emisión o de consumo pero, debido a los costes involucrados o a las consideraciones de efectos sobre otros medios, no se consideran apropiados como MTD para el sector en su totalidad. Sin embargo, tales niveles pueden considerarse justificados en casos más específicos donde haya motivaciones especiales.

Los niveles de emisiones y consumo asociados con el uso de las MTD deben contemplarse junto con las condiciones de referencia especificadas (ej.: periodos de promedio).

El concepto de "niveles asociados con las MTD" descrito arriba debe distinguirse del término "nivel alcanzable" utilizado en otras partes de este documento. Cuando un nivel se describe como "alcanzable" usando una técnica o una combinación particular de técnicas, esto debe entenderse que significa que puede esperarse que el nivel se alcance durante un período de tiempo substancial en una instalación bien mantenida y gestionada usando esas técnicas.

Cuando se hallan disponibles, se indican los datos referentes a costes junto con la descripción de las técnicas presentadas en el capítulo anterior. Éstos dan una indicación general de la magnitud de los costes involucrados. Sin embargo, el coste real de aplicar una técnica dependerá fuertemente de la situación específica en relación con respecto a, por ejemplo, impuestos, tasas, y las características técnicas de la instalación en cuestión. No es posible evaluar tales factores específicos de cada instalación de forma completa en este documento. En ausencia de datos referentes a costes, las conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas se extraen de observaciones sobre instalaciones existentes.

Se ha previsto que las MTD generales en este capítulo sean un punto de referencia frente al cual se juzgue el funcionamiento actual de una instalación existente o una propuesta para una nueva instalación. De esta manera servirán de ayuda para la determinación de condiciones "basadas en MTD" apropiadas para la instalación o en el establecimiento de reglas obligatorias generales bajo el Artículo 9(8). Se prevé que las nuevas instalaciones pueden diseñarse para funcionar a los niveles generales de MTD aquí presentados, o a niveles incluso mejores. También se considera que las instalaciones existentes podrían evolucionar hacia los niveles generales de MTD o mejorarlos, con arreglo a la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas en cada caso.

Aunque los BREF no fijan estándares legalmente obligatorios, se intenta dar información de guía a la industria, los Estados miembros y el público con respecto a los niveles de emisiones y consumos alcanzables al usar las técnicas especificadas. Los valores límites apropiados para cualquier caso específico deberán determinarse considerando los objetivos de la Directiva sobre IPPC y las consideraciones locales.

### Identificación de una MTD horizontal

El enfoque horizontal del tratamiento y la gestión de aguas y gases residuales en el sector químico entero está basado en la premisa de que las opciones para la prevención o control de emisiones pueden evaluarse independientemente de los procesos de producción particulares, y que, sobre esta base, puede identificarse una MTD que cubra las medidas más eficaces y convenientes para conseguir un elevado nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto contra las emisiones mencionadas anteriormente. Como este es un BREF horizontal, la MTD debe determinarse más ampliamente que para un BREF vertical, en particular para poder cubrir diversas tecnologías.

La MTD utilizada en el presente documento incluye:

- La metodología para prevenir la descarga de aguas / gases residuales, determinar su necesidad y llevar a cabo una mejora de las emisiones y encontrar la mejor opción para la recogida y tratamiento de aguas / gases residuales (gestión de efluentes).
- La identificación de las mejores y más adecuadas técnicas de tratamiento de aguas y gases residuales [en el sentido del Art. 2(11)].

Así, este capítulo contiene:

- Una parte genérica que describe una MTD general para metodología de gestión medioambiental.
- Una parte específica que describe la MTD para metodologías específicas de gestión de aguas / gases residuales y una lógica para la toma de decisiones sobre técnicas de tratamiento de aguas y gases residuales.

### El sector químico

El sector de la industria química cubre una amplia gama de empresas: en un extremo, las empresas con un solo proceso y pocos productos, con una o pocas fuentes de emisión de residuos y, en el otro, las empresas que producen gran cantidad de productos, con muchas y complejas corrientes residuales. Aunque probablemente no hay dos complejos químicos que sean totalmente comparables en cuanto a gama y mezcla de productos, situación medioambiental y cantidad y calidad de sus emisiones de residuos, es posible describir las MTD para el tratamiento de aguas y gases residuales para el sector químico en su conjunto.

### Aplicación de MTD

La aplicación de MTD en plantas nuevas no suele representar un problema. En la mayoría de casos tiene sentido económico planear los procesos de producción y sus emisiones de aguas / gases residuales para minimizar las emisiones y el consumo de materias. Sin embargo, en los complejos existentes, la aplicación de las MTD no es generalmente tarea fácil, debido a la infraestructura existente y las circunstancias locales (ver Sección 3.2.2). No obstante, este documento no hace distinción entre MTD para instalaciones nuevas y existentes. Tal distinción no ayudaría a mejorar la situación medioambiental de los complejos industriales cara a la adopción de las MTD y no reflejaría el compromiso de la industria química con la mejora continua de las condiciones medioambientales.

Por otra parte, evidentemente no es factible o viable aplicar todas las técnicas identificadas como MTD a la vez. Sin embargo, lo que sí es factible es integrar la MTD en las instalaciones existentes cuando se planean modificaciones importantes, o aplicar una MTD que influya sobre todo el complejo en un programa de construcción paso a paso a lo largo de un periodo de tiempo. Estos programas son un reto para que las empresas

y las autoridades reguladoras lleguen a un acuerdo sobre el calendario y el orden de prioridad de los cambios requeridos.

Algunas ideas claves para programas de fijación de prioridades en complejos existentes serían, por ejemplo:

- Consideración de la calidad actual del medio receptor.
- Consideración del grado de impacto local actual.
- Consideración de la eficacia de las medidas en términos de reducción global de contaminantes en relación a costes y riesgos.

## 4.2. MTD generales

### MTD para gestión ambiental general

La tarea de la gestión medioambiental es:

- Definir objetivos ambientales para las actividades de la empresa.
- Asegurar una óptima operación ambiental y una eficacia en continua mejora de estas actividades.
- Controlar el cumplimiento de estos objetivos ambientales.

Los instrumentos de gestión descritos en la Sección 2.2 deben ser tenidos en consideración en la determinación de las MTD y deben reflejarse como condiciones o requisitos a la hora de decidir sobre un permiso. Estos instrumentos no se limitan a los aspectos de aguas y gases residuales, sino que son un prerrequisito para un óptimo comportamiento según los requisitos de la Directiva. Las MTD para gestión medioambiental general descritas a continuación siguen los mismos principios para todo tipo de empresas, tanto si son pequeñas como grandes. A diferencia de las empresas grandes, la gestión ambiental general de las empresas pequeñas y medianas (PYME) es menos compleja

Es MTD:

- Aplicar y poner en práctica un sistema de gestión ambiental (SGA) o sistema de SSMA, cuyo contenido completo se detalla en la Sección 2.1 (como ISO 9001 / 14001, EMAS, Responsible Care®, ICC Carta de las Empresas de la ICC para el Desarrollo Sostenible, Directrices CEFIC para la Protección del Medio Ambiente). Los elementos de un buen SGA pueden incluir:
  - Puesta en práctica de una jerarquía transparente de responsabilidad del personal, en la que los encargados informen directamente al máximo nivel de dirección.
  - Preparación y publicación de un informe anual de comportamiento ambiental (ej. como parte de EMAS o ISO 9001 / 14001) para permitir la difusión pública de mejoras en la eficacia, que pueden también servir como vehículo para intercambio de información según el Art. 16(2) de la Directiva.
  - Establecimiento de objetivos ambientales internos (específicos para un complejo o para la empresa), con revisión regular como se detalla en la Sección 2.2.2.2 y publicación en un informe anual.
  - Realización de auditorías regulares para asegurar el cumplimiento de los principios del SGA.
  - Monitorización regular del comportamiento y de los progresos hacia la consecución de la política del SGA.
  - Práctica de evaluación de riesgos de forma continua para identificar posibles peligros, como se detalla en la Sección 2.2.3.1
  - Establecimiento de valores de referencia de forma continua y optimización de los procesos (producción y tratamiento de residuos) en cuanto a su consumo de agua y energía, generación de residuos y efectos sobre otros medios, como se describe en la Sección 2.2.3.2.
  - Aplicación de un programa de formación adecuado para el personal e instrucciones para los contratistas que trabajen en el complejo en relación con los aspectos de Salud, Seguridad y Medio Ambiente (SSMA) y emergencias, como se indica en la Sección 2.2.4.2.
  - Aplicación de prácticas de buen gobierno para asegurar el funcionamiento apropiado de los dispositivos técnicos.

### MTD para gestión de aguas / gases residuales

La tarea de la gestión de aguas / gases residuales es encajar la situación de las emisiones de aguas / gases residuales generadas en el complejo industrial con los requisitos legales y de permisos, las condiciones medioambientales e higiénicas locales y la mejora continua de las condiciones ambientales, también puesto en práctica por el programa de Cuidado Responsable del CEFIC. Detecta y evalúa las opciones para prevenir o reducir la generación de emisiones o su impacto sobre el medio ambiente. Los resultados de las consideraciones y decisiones de gestión de aguas / gases residuales son la identificación y puesta en práctica de:

- Posibles reducciones de emisiones en el proceso de producción.
- Medios para evitar la contaminación innecesaria de emisiones libres de contaminación.
- Sistemas de recogida de residuos más adecuados.
- Sistemas de control de emisiones más adecuados.
- Mejores sistemas de monitorización para comprobar el cumplimiento con los objetivos o reglamentos legales.

Nuevamente, al igual que en la gestión medioambiental general, la MTD para gestión de aguas / gases residuales sigue los mismos principios para todos los tipos de tamaños de empresas. Mientras que la gestión de aguas / gases residuales para empresas con una o pocas líneas de producción es una tarea relativamente simple y fácil, suele ser muy compleja para grandes complejos con una mezcla de múltiples producciones (ver Sección 2.1, figura 2.3).

Es MTD:

- Aplicar un sistema de gestión de aguas / gases residuales o una evaluación de emisiones de aguas / gases residuales para todo el complejo químico con referencia a la Sección 2.1 y Figura 2.2, utilizando una combinación apropiada de:
  - o Inventario del complejo e inventario o registro de corrientes. Estos inventarios proporcionan la información necesaria para los pasos de evaluación siguientes, según se describen en las Secciones 2.2.1.1 y 2.2.1.2.
  - o Seguimiento sistemático de las corrientes de materia internas aplicando análisis de flujo de energía y materia (EMFA) (ver Sección 2.2.1.3) – de forma adecuada a la complejidad del sistema de aguas / gases residuales – para extraer las conclusiones necesarias para optimización; para complejos con uno o pocos puntos de emisión, la aplicación del EMFA puede ser innecesaria o muy simple.
  - o Comprobación e identificación de las fuentes de emisiones más relevantes para cada medio y listado de las mismas de acuerdo con su carga contaminante. La clasificación resultante de fuentes de emisiones será la base para el programa de mejora que dará prioridad a las fuentes que ofrecen el mayor potencial de eficacia de reducción.
  - o Comprobación de los medios receptores (atmósfera y agua) y su tolerancia a las emisiones, utilizando los resultados para determinar el grado en el que se precisan requisitos de tratamiento más fuertes, o en el que las emisiones son inaceptables.
  - o Realización de evaluaciones de toxicidad, persistencia y potencial de bioacumulación de las aguas residuales a descargar en un cuerpo acuático receptor, según se describe en la Sección 2.2.1.2.1, compartiendo los resultados con las autoridades competentes.
  - o Comprobación e identificación de los procesos con un consumo de agua relevante, listándolos conforme a su consumo de agua. La clasificación resultante es la base para la mejora del consumo de agua.
  - o Fomento de opciones de mejora (como opciones de prevención o reducción de residuos, mejora de la recogida y control de efluentes y/o opciones para medidas integradas en el proceso), centradas en las corrientes con mayores concentraciones y cargas, potencial de riesgo e impacto sobre el cuerpo receptor, según se detalla en la Sección 2.1 en conexión con la Figura 2.2.

### **Discrepancia**

Un Estado Miembro expresaba la opinión de que las afirmaciones sobre MTD para la gestión de aguas y gases residuales son en parte demasiado generales y que hacen referencia a ejemplos de corrientes con altas concentraciones y cargas (como se menciona en la Sección 2.2.2.3.1).

- o Evaluación de las opciones más eficaces, comparando sus eficacias globales de eliminación, el balance global de sus efectos sobre otros medios, su viabilidad técnica, organizativa y económica, etc.

La evaluación de emisiones de aguas / gases residuales es la base para todas las decisiones sobre separación de corrientes, estrategias de reducción, mejoras de proceso (ver los BREF verticales sobre el sector químico y sectores relacionados con respecto a tecnología de proceso más limpia, materia prima limpia, equipo de proceso mejorado, control de fugas, etc.) y técnicas de control. Un ejemplo de una gestión eficaz de aguas residuales – reportado por Alemania – que sigue la estrategia detallada para complejos químicos con cargas orgánicas de la producción de compuestos químicos orgánicos, tiene un objetivo razonable de eficacia de eliminación global de DQO (incluido pretratamiento) a al menos un 90 %. Las MTD para las medidas a adoptar a la luz de los resultados de la evaluación de las emisiones de aguas / gases residuales se detallan en la Sección 4.3.

- Evaluar el impacto sobre el medio ambiente y los efectos sobre las instalaciones de tratamiento a la hora de planificar nuevas actividades o modificaciones en las ya existentes, compartiendo la situación medioambiental futura con la existente e indicando si cabe esperar cambios sustanciales.
- Practicar la reducción de emisiones en origen mediante la separación de corrientes, instalación de sistemas de recogida adecuados y medidas de construcción (ver Sección 4.3).
- Relacionar los datos de producción con los datos de cargas de emisión para comparar las emisiones reales con las calculadas. Si los datos obtenidos no coinciden, debe determinarse cuál es el proceso responsable de emisiones inesperadas.
- Tratar las corrientes residuales contaminadas en origen, preferiblemente a su dispersión y tratamiento posterior en una instalación central, a menos que haya buenos motivos que lo desaconsejen. La mayoría de técnicas de tratamiento funcionan con mayor eficacia cuando el contenido de contaminantes es alto. También es económico tratar corrientes tributarias relativamente pequeñas con dispositivos de tratamiento pequeños y de alta eficacia, en lugar de tener grandes instalaciones centrales con una elevada carga hidráulica.
- Utilizar métodos de control de calidad, según se describe en la Sección 2.2.2.6, para evaluar el tratamiento y/o los procesos de producción, así como para evitar que se descontrolen.
- Aplicar buenas prácticas de fabricación (cuyas siglas en inglés son: GMP) en la limpieza del equipo, con el fin de reducir las emisiones al agua y a la atmósfera.
- Disponer instalaciones / procedimientos que permitan una pronta detección de cualquier desviación que pueda afectar a las instalaciones de tratamiento corriente abajo, con el fin de evitar perturbaciones en las mismas, permitir la identificación de la fuente de desviación y eliminar su causa; mientras tanto, el agua residual producida puede desviarse a instalaciones de retención, y el gas residual a instalaciones de seguridad adecuadas, como por ejemplo una antorcha.
- Instalar un sistema central de alerta eficiente que advierta de los fallos y averías a todos los afectados; cuando un accidente pueda tener un efecto significativo sobre el medio ambiente y/o la vecindad, las autoridades competentes deberán ser parte de la cadena de información.
- Aplicar un programa de monitorización en todas las instalaciones de tratamiento, fin de comprobar que funcionen correctamente, para permitir la detección de irregularidades o fallos operativos que puedan influir sobre los medios receptores y dar información sobre las emisiones reales de contaminantes.
- La aplicación de un programa de monitorización para detectar las emisiones es un requisito del Art. 9(5) de la Directiva, y la información obtenida sirve de información al público según el Art. 15(2) de la Directiva. El programa de monitorización debe incluir los contaminantes y/o parámetros indirectos relevantes de la instalación de tratamiento. La frecuencia de las mediciones depende del riesgo de los contaminantes en cuestión, el riesgo de fallo de la instalación de tratamiento y la variabilidad de las emisiones.
- Aplicar estrategias para la gestión del agua contra incendios y de los vertidos, como se describe en la Sección 2.2.4.1.
- Aplicar un plan de respuesta a incidentes de contaminación para permitir una respuesta lo más rápida y apropiada posible a accidentes internos y fallos operativos, según se describe en la Sección 2.2.4.2.
- Asignar los costes del tratamiento de aguas y gases residuales a la producción.

### 4.3. MTD específicas

Una vez sentada la base de la metodología de gestión, el siguiente paso hacia la prevención y control integrado de la producción es la puesta en práctica de medidas técnicas.

#### 4.3.1. Sección de aguas residuales

Esta sección está dedicada a la determinación de MTD para el tratamiento de aguas residuales en un complejo industrial químico, incluyendo las técnicas necesarias de prevención y reducción además de las técnicas de control (técnicas de postproducción o end of pipe).

##### MTD para medidas integradas en el proceso

Como se ha indicado en las Secciones 1.3.1 y 3.3.1, las medidas integradas en el proceso son el método preferido para prevenir o reducir la cantidad de aguas residuales y/o contaminación. Sin embargo, generalmente se trata de medidas específicas de la producción o proceso, y su aplicabilidad requiere una evaluación especial, que entra dentro del ámbito de los BREF verticales sobre el sector químico y sectores relacionados. Por consiguiente, las conclusiones sobre MTD para medidas integradas en el proceso en este documento hacen referencia a la necesidad general de aplicar tales medidas en una línea de producción y tienen en

consideración sólo procesos como lavado de productos, limpieza de equipos, generación de vacío y refrigeración, que se aplican comúnmente en la mayoría de líneas de producción.

La MTD es una combinación apropiada de:

- Uso de medidas integradas en el proceso o de recuperación de aguas residuales o de contaminantes con preferencia sobre las técnicas de postproducción cuando haya elección.
- Evaluación de las instalaciones de producción existentes para definir las opciones para adaptar medidas integradas en el proceso y aplicarlas cuando sean factibles, o al menos cuando la instalación sea sometida a modificaciones importantes.
- Uso de reciclaje del agua de proceso cuando sea factible por motivos económicos y de calidad, con un máximo número de reciclajes antes de su descarga, como se describe en la Sección 3.3.1.2.
- Optimización de los procesos de lavado de productos evitando los procesos en un solo paso cuando sea viable por motivos de calidad, como se indica en la Sección 3.3.1.1.
- Evitar los sistemas de refrigeración con contacto directo cuando sea factible, según se detalla en la Sección 3.3.1.3.
- Uso de generación de vacío en circuito cerrado en lugar de bombas de chorro de agua o de vapor cuando sea factible, por ejemplo cuando su uso no esté prohibido por aspectos de seguridad o de corrosión como se indica en la Sección 3.3.1.4.
- Evaluación de si los procesos de tratamiento de gases residuales a base de agua pueden ser sustituidos por otras medidas, como se describe en la Sección 3.3.1.5. Las técnicas de tratamiento de gases residuales que utilizan cantidades relativamente grandes de agua (como medio de lavado o de refrigeración) son de especial importancia en regiones con escasez de agua. Ejemplos de tales medidas, que pueden ser de gran importancia en regiones con escasez de agua, son:
  - o Eliminación de materia sólida mediante técnicas secas en lugar de lavado húmedo.
  - o Reducción de SO<sub>x</sub> en gases de combustión por medidas secundarias en lugar de sistemas que incluyan lavado húmedo.

### MTD para recogida de aguas residuales

Un sistema adecuado de recogida de aguas residuales desempeña un papel esencial en la reducción y/o tratamiento efectivo de aguas residuales. Conduce las corrientes de aguas residuales a su dispositivo de tratamiento apropiado y evita la mezcla de las aguas residuales contaminadas y no contaminadas.

Es MTD:

- Separar el agua de proceso del agua de lluvia sin contaminar y otras emisiones de agua sin contaminar. Esto minimiza la cantidad de agua que requiere tratamiento y la carga hidráulica enviada a las instalaciones de tratamiento. Si los complejos existentes no utilizan todavía la separación de agua, puede instalarse –al menos parcialmente– cuando se realicen modificaciones importantes en el complejo.
- Separar las aguas de proceso según su carga contaminante: orgánica, inorgánica, inorgánica con o sin carga orgánica significativa, o contaminación insignificante. Esto asegura que una instalación de tratamiento reciba sólo los contaminantes que puede tratar.
- Instalar tejados sobre zonas de posible contaminación mediante, por ejemplo, vertidos o fugas – cuando sea viable. Evita que el agua de lluvia caiga sobre esas zonas y se mezcle con contaminantes, lo que aumentaría la cantidad de agua residual que requiere tratamiento.
- Instalar desagües separados para zonas con riesgo de contaminación, incluido un sumidero para recoger las pérdidas de fugas o vertidos, como se describe en la Sección 3.3.4.4.
- Evitan la descarga de agua de lluvia contaminada por pérdidas de productos. El agua de lluvia capturada separadamente se emite tras una monitorización adecuada y se descarga, según los resultados, directamente al sistema de desagüe de agua sin contaminar o a instalaciones de tratamiento apropiadas.
- Usar cloacas no subterráneas para el agua de proceso dentro del complejo industrial, entre los puntos de generación de aguas residuales y los dispositivos de tratamiento final. Si las condiciones climáticas no permiten cloacas por encima de la superficie (por temperaturas claramente inferiores a 0 °C), los sistemas con conductos subterráneos accesibles con un sustituto adecuado. Muchos complejos químicos industriales disponen todavía de cloacas subterráneas, y la construcción inmediata de nuevos sistemas de alcantarillado no es normalmente viable, pero pueden realizarse obras en periodos en los que estén previstas modificaciones importantes en las plantas de producción o el sistema de alcantarillado.
- Instalar capacidad de retención para casos de posibles fallos y para el agua contra incendios, de acuerdo con la evaluación de riesgos, escogiendo una, dos o la totalidad de las siguientes opciones:
  - o Retención descentralizada para episodios de fallo detectados, cuando sea posible cerca de las plantas de producción y lo suficientemente grandes para evitar la emisión de sustancias a la alcantarilla cuando el proceso sufre una parada controlada.

- o Retención central para recoger agua residual de episodios de fallos que haya entrado ya en el sistema de alcantarillas en lugar de conducirla a la EDAR central como se describe en la Sección 3.3.3. Aunque hay varios tipos de sistemas de retención en funcionamiento que pueden ser considerados MTD, los sistemas más seguros son aquellos en los que el tanque se inunda sólo en caso de un episodio de fallo (ver figura 3.2) o en los que se llenan dos tanques alternativamente (ver Figura 3.1).
- o Retención del agua contra incendios, en aislamiento o en combinación con contención local. La experiencia ha mostrado que el agua contra incendios puede ascender a miles de metros cúbicos (por ejemplo, unos 15000 m<sup>3</sup> de agua contra incendios altamente contaminada), por lo que la capacidad de retención debe ser lo bastante grande para albergarla y proteger los sistemas de desagüe de agua superficial y de aguas residuales.
- o Sistema de desagüe para sustancias peligrosas e inflamables, por ejemplo para alejarlas de la zona del incendio.

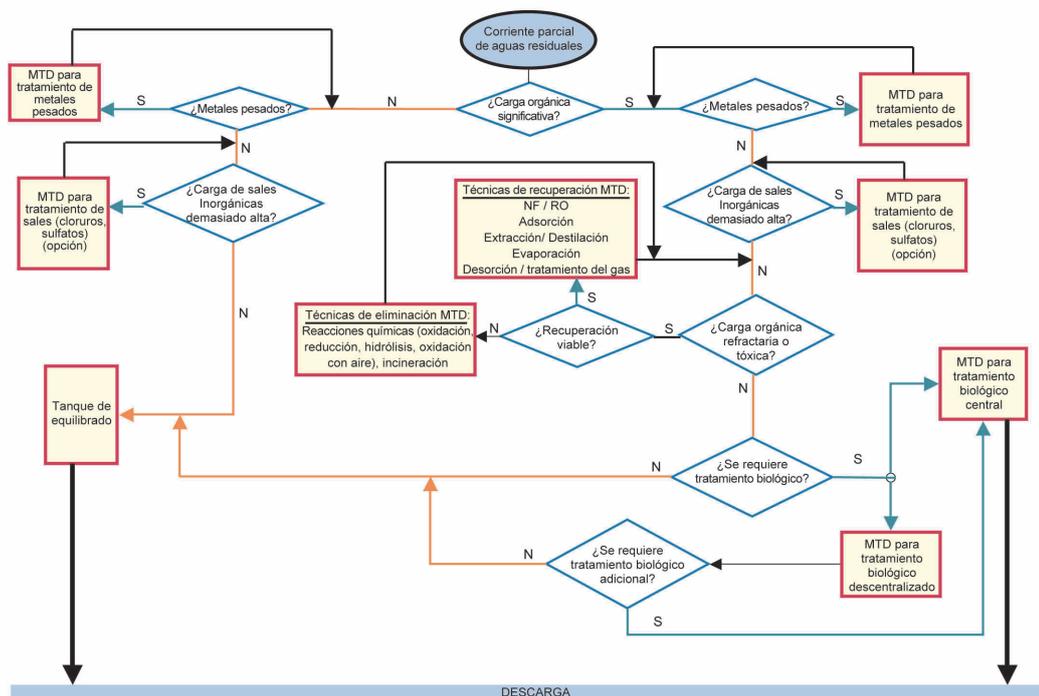


Figura 4.1. Ordinograma para el tratamiento de aguas residuales en un complejo industrial químico: Base para conclusiones sobre MTD

MTD para tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales en el sector químico sigue al menos cuatro estrategias distintas:

- Tratamiento final central en una PTAR biológica in situ.
- Tratamiento final central en una PTAR municipal.
- Tratamiento final central del agua residual inorgánica en una EDAR quimiomecánica.
- Tratamientos descentralizados.

Este documento no da preferencia a ninguna de ellas. Las cuatro estrategias pueden considerarse MTD si se aplican apropiadamente a la situación concreta del agua residual, de lo contrario ninguna de ellas es MTD.

Las conclusiones sobre MTD siguen el camino de los contaminantes a controlar, como se describe en la Figura 4.1. Se supone que en esta etapa se habrán tomado las decisiones apropiadas de gestión de efluentes,

se habrá evaluado el impacto sobre el cuerpo acuático receptor, se habrán explotado todas las opciones prácticas para la prevención y reducción de aguas residuales, y se habrán tenido en cuenta todas las medidas de seguridad, es decir, desde este punto en adelante sólo se considerarán soluciones de postproducción (end of pipe).

Hay que destacar que aspectos específicos de algunas regiones pueden requerir técnicas de tratamiento especialmente desarrolladas para un complejo, o pueden invalidar técnicas reconocidas y de uso común para este caso especial. El siguiente enfoque para extraer condiciones sobre MTD para el tratamiento de aguas residuales ofrece una guía para encontrar e instalar la técnica apropiada, incluyendo cómo abordar las peculiaridades típicas del tratamiento de aguas residuales. En enfoque sigue un ordinograma para extraer conclusiones sobre MTD para el tratamiento apropiado de aguas residuales para un complejo químico, que se ilustra en la Figura 4.1.

- General

Es MTD:

- o Asignar las corrientes de aguas residuales contaminadas según su carga de contaminantes. El agua residual inorgánica sin componentes orgánicos relevantes es separada del agua residual orgánica y es conducida a instalaciones de tratamiento especiales (ver secciones especiales sobre metales pesados y sales inorgánicas, que se discuten más adelante en este capítulo). El agua residual orgánica con una parte relevante de compuestos inorgánicos y orgánicos refractarios o tóxicos es dirigida a dispositivos de pretratamiento especiales (ver secciones sobre metales pesados, sales inorgánicas y contaminantes inadecuados para tratamiento biológico más adelante en este capítulo).

- Agua de lluvia

Es MTD:

- o Conducir el agua de lluvia sin contaminar directamente al agua receptora, sin pasar por el sistema de alcantarillado de aguas residuales.
- o Tratar el agua de lluvia de las zonas contaminadas, mediante las técnicas descritas en las Secciones 3.3.4.1.1, 3.3.4.4.1 y 3.3.4.4.2, ver Tabla 4.1, antes de su descarga a un agua receptora.

En algunos casos, el uso de agua de lluvia como agua de proceso para reducir el consumo de agua fresca puede ser medioambientalmente beneficioso.

Las técnicas detalladas en la Tabla 4.1 se consideran MTD cuando se aplican a la situación correspondiente. La tabla detalla las restricciones para las distintas técnicas.

- Aceite / Hidrocarburos libres

Es MTD:

- o Eliminar aceite / hidrocarburos cuando aparezcan como grandes manchas y sean incompatibles con otros sistemas, con la finalidad de aumentar al máximo la recuperación, aplicando una combinación apropiada de:
  - Separación de aceite / agua mediante ciclón, MF o API cuando puedan esperarse grandes manchas de aceite o hidrocarburos libres, de lo contrario PPI y CPI son alternativas, más detalles en la Sección 3.3.3.4.1.6.
  - MF, filtración con medio granular o flotación por gas, que se describen en las Secciones 3.3.4.1.5, 3.3.4.1.4 y 3.3.4.1.3. respectivamente.
  - Tratamiento biológico (ver sección sobre sustancias biodegradables), en una EDAR biológica, una EDAR municipal o una planta de tratamiento separada para esta corriente de agua residual especial.

**Tabla 4.1.**  
**Técnicas de tratamiento de agua de lluvia descritas en el Capítulo 3**

	Desarenador			Estanque de retención / tanque de sedimentación (ver Tabla 4.3)	Filtro de arena
	Acanalado	Circular	Aireado		
<b>Finalidad</b>	Eliminación de arena y grava sólo. Protección del proceso de tratamiento. Protección del equipo contra abrasión.			Clarificación y limpieza de agua de lluvia y recogida de carga hidráulica de fuertes lluvias para proteger el río receptor (estanque de retención) Clarificación del agua de lluvia antes de su descarga o reutilización (tanque de sedimentación).	Tratamiento de escoorrentías de agua de lluvia de superficies ligeramente contaminadas, para descarga o reutilización.
<b>Aplicación</b>	Como parte de la PTAR, se aplica a agua de lluvia tratada en la PTAR (agua de lluvia de superficies fuertemente contaminadas). Caudal 0,3 m/s, por lo que sólo se separa arena y material grueso.			Eliminación de sólidos en suspensión de superficies ligeramente contaminadas.	Eliminación de sólidos en suspensión.
<b>Límites de aplicación</b>	Adecuado para un caudal de agua residual con fuertes fluctuaciones.	Menos adecuado para fuertes fluctuaciones en el caudal de agua residual	Adecuado para un caudal de agua residual fluctuante.	No adecuado para agua de lluvia de superficies fuertemente contaminadas. No adecuado para regiones con largos periodos de sequía y/o altas temperaturas, ya que el largo tiempo de residencia junto con el calor causa emisiones de olor .	No adecuado para aguas de lluvia de superficies fuertemente contaminadas.
<b>Consumibles</b>	Energía para bombas	Aire comprimido Energía para bombas y chorro de aire.	Aire comprimido Energía para bombas y chorro de aire.		Energía para bombas Periódicamente, sustitución del medio de filtro
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Emisiones de ruido. Emisiones de olor. Arena para desechar.			<b>Estanque de retención:</b> Desecho de lodo Según el tiempo de residencia hidráulica, son posibles emisiones de olor.	Desecho del lodo de lavado a contracorriente.
<b>Requisitos de espacio</b>	Comparativamente bajos Parte de la PTAR.			Requiere un área grande.	Bajo requisito de espacio.
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminante]</b>				Estanque de retención: TSS 50-90	TSS 80-83
<b>Adaptabilidad a instalaciones existentes</b>	Fácilmente adaptable, si no es ya parte del equipo.			Adaptable si hay espacio disponible.	Fácilmente adaptable.

Los niveles de emisiones asociados con las MTD para la eliminación de aceite / hidrocarburos se indican en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2.**  
**Niveles de emisiones asociados con las MTD para aceite / hidrocarburos libres descargados a un agua receptora**

Parámetro	Concentración <sup>a1</sup> [mg/l]
Contenido total de hidrocarburos	0,05-1,5
DBO <sub>5</sub>	2-20
DQO	30-125

<sup>a</sup> Media mensual  
<sup>b</sup> Hay un desacuerdo sobre los métodos analíticos para evaluar hidrocarburos, que no pudo ser resuelto dentro del WG.  
<sup>1</sup> Tomado del borrador del BREF sobre Refinerías de Aceite Mineral y Gas, de octubre de 2001

- Emulsiones

Es MTD:

- Romper las emulsiones en origen y recuperar los componentes separados. Puede ser necesaria la adición de agentes químicos floculantes y/o coagulantes para apoyar la separación; el tratamiento en origen permite la recuperación y previene efectos adversos en los sistemas de alcantarillado corriente abajo; o
- Eliminar las emulsiones en origen si no pueden romperse y pueden tener efectos adversos sobre instalaciones corriente abajo. Son técnicas de tratamiento adecuadas, por ejemplo, la oxidación con aire, la evaporación, la incineración (cuando el valor calorífico de la emulsión permite la operación autotérmica) o la degradación biológica. Muchas veces no se permite la descarga de emulsiones en sistemas de alcantarillado público.

- Sólidos totales en suspensión (SST)

Las medidas para la eliminación de SST utilizadas en esta sección no incluyen las de lodo activado o compuestos de metales pesados, que se abordan en otras secciones.

Es MTD:

- Eliminar los SST de las corrientes de agua residual cuando puedan causar daños o fallos en instalaciones corriente abajo, como abrasión y obstrucciones en bombas y tubos, u obstrucciones o atascos en instalaciones de tratamiento. Las instalaciones de tratamiento corriente abajo, que podrían resultar dañadas, son elementos corriente abajo como filtros, columnas de adsorción, filtros de membrana, recipientes de oxidación por radiación UV o una EDAR central o municipal. Las técnicas se detallan en la Tabla 4.3. La clasificación de las técnicas de tratamiento es:
  - 1º paso: Sedimentación / flotación por aire para captar la carga principal de SST y proteger los sistemas de filtración subsiguientes de obstrucciones o de frecuencias elevadas de lavado a contracorriente. La sedimentación o flotación por aire es normalmente suficiente para evitar la abrasión y las obstrucciones en bombas y conductos (siempre que las emulsiones y sólidos inseparables hayan sido tratados con éxito).
  - 2º paso: Filtración mecánica como opción, si el contenido sólido no ha sido reducido suficientemente para evitar obstrucciones en instalaciones de tratamiento subsiguientes, como filtración por membrana, adsorción o reacción de oxidación química por radiación UV.
  - 3º paso: MF o UF como opción, si la corriente de agua residual necesita estar libre de sólidos para evitar obstrucciones, por ejemplo, en instalaciones de NF o RO, o libre de otras partículas que no puedan eliminarse por otras técnicas de filtración.
- o Eliminar los SST de corrientes de aguas residuales antes de su descarga a un agua receptora. Mientras no se incluyan sustancias peligrosas en los SST, las técnicas comunes son:
  - Sedimentación / Flotación por aire.
  - Filtración, sólo si se requiere debido a una separación insuficiente por las técnicas precedentes.
- Eliminar los SST de corrientes de aguas residuales con una técnica que permita su recuperación con preferencia a técnicas de eliminación cuando sea factible y viable para reutilizar los sólidos.
- Aplicar agentes floculantes y/o coagulantes cuando haya presente material finamente dispersado o que no pueda ser separado de otro modo, para producir flóculos lo bastante grandes para que sedimenten.

- Cubrir o cerrar el dispositivo de tratamiento cuando el olor y/o el ruido sean un problema, conduciendo el aire de escape a tratamiento adicional de gases residuales si es necesario, y aplicar los dispositivos de seguridad necesarios cuando pueda haber riesgo de explosión en el dispositivo de tratamiento cerrado.
- Desechar el lodo apropiadamente, entregándolo a un contratista autorizado o tratándolo in situ (ver sección sobre tratamiento de lodo).

Las técnicas a considerar como MTD, según la aplicación, son las descritas en las Secciones 3.3.4.1.2 y 3.3.4.1.5 y listadas en la Tabla 4.3.

- Metales pesados

Dado que los metales pesados con elementos químicos que no pueden ser destruidos, su recuperación y reutilización son las únicas formas de evitar su emisión al medio ambiente. Todas las demás opciones causan su transferencia entre los distintos medios: agua residual, aire residual y vertedero. Las corrientes de aguas residuales que transportan una carga significativa de metales pesados son las que se originan en procesos de producción en los que se producen o utilizan compuestos de metales pesados (ej. como catalizador), o de procesos de limpieza de equipos utilizados en dicha producción.

Es MTD:

- o Separar las aguas residuales que contengan metales pesados en la medida de lo posible, y
- o Tratar las corrientes de aguas residuales separadas en origen antes de su mezcla con otras corrientes, y
- o Dar preferencia a técnicas que permitan la recuperación. Las técnicas que pueden aplicarse para alcanzar estos requisitos se detallan en la Tabla 4.4, y
- o Facilitar la eliminación ulterior de metales pesados en una EDAR final (etapa químico-mecánica para producciones inorgánicas, tratamiento biológico para producciones orgánicas) como paso de limpieza, con tratamiento subsiguiente de lodos, si es necesario.

El WG no pudo proporcionar niveles de emisión asociados con MTD para metales pesados en corrientes de aguas residuales tributarias que serían aplicables al sector químico en su conjunto por los motivos detallados en la Sección 3.3.4.2.1. Los niveles de emisión resultantes de la aplicación de las MTD arriba indicadas dependen del proceso de producción en el que se originan los contaminantes con metales pesados.

- Sales y/o ácidos inorgánicos (partículas iónicas)

El contenido de sales y/o ácidos inorgánicos del agua residual puede influenciar la biosfera de un agua receptora, por ejemplo ríos pequeños sujetos a elevadas cargas de sales, y la operación de los sistemas de alcantarillado, como corrosión de conducciones, válvulas y bombas o funcionamiento incorrecto del tratamiento biológico corriente abajo. Las medidas de control usadas en esta sección para sales inorgánicas no incluyen las de sales de metales pesados, que se detallan en la sección anterior, ni las de sales amónicas, que se controlan por otros medios.

Es MTD:

- o Controlar apropiadamente el contenido de sales y ácidos inorgánicos de las corrientes de aguas residuales con impacto negativo en la biosfera del agua, si es necesario impidiendo su descarga. Cuando se requiere tratamiento, es más rentable realizarlo en origen.
- o Controlar el contenido de sales inorgánicas (principalmente cloruros y sulfatos) mediante tratamiento en origen cuando puedan causar daños, fallos o funcionamiento incorrecto en el sistema de alcantarillado municipal o in situ.
- o Escoger una técnica de tratamiento que permita la recuperación y reutilización de los contaminantes tratados siempre que sea factible y adecuado, teniendo en cuenta efectos sobre otros medios y el impacto de los contaminantes

Las técnicas de tratamiento apropiadas se detallan en la Tabla 4.5, y la elección dependerá de la situación concreta.

**Tabla 4.3.**  
**Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para sólidos en suspensión**

	<b>Sedimentación</b>	<b>Flotación por aire</b>	<b>Filtración</b>	<b>MF/UF</b>
<b>Finalidad</b>	Clarificación del agua de lluvia recogida de sólidos en suspensión. Clarificación del agua de proceso de sólidos en suspensión o flóculos.	Clarificación del agua de proceso cuando la sedimentación no es apropiada.	Etapas de separación final tras la sedimentación o flotación por aire para conseguir bajas emisiones de partículas.	Clarificación hasta obtener agua residual libre de sólidos para las instalaciones de tratamiento corriente abajo (ej. RO).
<b>Aplicación</b>	Separación de sólidos del agua residual. En principio SST recuperables.	Separación de sólidos no sedimentables y/o aceite / grasa. El material separado puede ser recuperado.	Separación de sólidos de la corriente de agua residual. La recuperación de materia depende del tipo de filtro.	Separación de toda la materia sólida, partículas coloidales, bacterias, virus. Muy adecuada para recuperación de materia.
<b>Límites de aplicación</b>	Las partículas deben ser vendibles. Sin límites de contenido de SST. No emulsiones estables.	No detergentes espumantes. Sin límites de concentración de alimentación, aunque no debe haber gran cantidad de aceite libre.	Deben evitarse los sólidos finamente dispersados y limosos. Altas cargas de SST causan obstrucciones.	Materiales de la membrana vulnerable a ataques químicos. La alimentación de SST debe ser baja debido a obstrucciones y atascos.
<b>Consumibles</b>	Prod. químicos: 0,5-100 g/m <sup>3</sup> Energía: 0,5-1,5 kW (diámetro del tanque 25-35 m)	Aire comprimido: 0.53-0.55 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Floculante: 2,4-4,7 kg/tonelada SST Energía: 20,6 kWh/1000 m <sup>3</sup>	Ayudas de filtración Caída de presión Energía	Agentes químicos anti-incrustaciones, antiensuciamiento y para lavado a contracorriente. Energía en relación al caudal y la caída de presión: 2-20 kWh/m <sup>3</sup> (MF) <sup>1</sup> 1-10 kWh/m <sup>3</sup> (UF) <sup>1</sup> Caída de presión: 0,02-0,5 MPa (MF) 0,2-1 MPa (UF)
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Desecho de lodo Emisiones de ruido de las bombas y sistema de eliminación de lodo / espuma. Emisiones de olor (ej. COV) si el tanque no es cerrado.	Desecho de lodo. Emisiones de ruido de bombas y chorro de aire. Emisiones de olor (ej. COV) si el tanque no es cerrado, mayores que en la sedimentación.	Desecho de lodo tras el lavado a contracorriente. Los filtros cerrados pueden requerir conexión a sistemas de eliminación de gas.	Desecho de residuos. Emisiones de ruido de bombas.
<b>Requisitos de espacio</b>	Depende del dispositivo (tanque plano o sedimentador de láminas).	Menos que en la sedimentación.		Estructura modular, Requisito de espacio bajo en comparación con otras técnicas.
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	SST 60-90 Sólidos sedimentables 90-95	SST 85-98 Sulfuros de MP: 95 Mayor estabilidad de tratamiento con fluctuaciones de alimentación.	Depende del medio y de los auxiliares de filtración. SST 50-99,99	SST cerca de 100
<b>Emisiones alcanzables [mg/l]</b>	SST <10	SST 10-20 Aceite 2-10	SST <10 Aceite libre <5	
<b>Adaptabilidad</b>	Depende del espacio disponible.	Sí	Sí	Sí

<sup>1</sup> Parece sorprendente que la MF, el proceso con la menor caída de presión, consuma más energía que los procesos con mayores caídas de presión. El motivo es que se produce polarización por concentración y ensuciamiento. En la MF, y en menor grado en la UF, este fenómeno es muy grave y produce un declive drástico del flujo [cww/tm/161].

**Tabla 4.4.**  
**Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para metales pesados**

	<b>Precipitación / sedimentación o flotación por aire / filtración</b>	<b>Cristalización</b>	<b>Intercambio iónico</b>	<b>NF / RO</b>
<b>Finalidad</b>	Transferencia de compuestos de metales pesados disueltos a compuestos insolubles y separación de los mismos de la corriente de agua residual.	Crecimiento de compuestos de metales pesados sobre material de siembra granular en un lecho fluidizado.	Sustitución de los iones de metales pesados en la fase acuosa por otros iones de la resina de intercambio iónico.	Separación de iones de metales pesados por permeación con membrana. Separación de la mayoría de los otros contaminantes.
<b>Aplicación</b>	Eliminación de metales pesados de corrientes de aguas residuales, preferiblemente para concentraciones altas. Recuperación posible en principio.	Eliminación de metales pesados de corrientes de aguas residuales produciendo condiciones que permitan su precipitación. La finalidad es su recuperación.	Soluciones que contienen iones de metales pesados con bajas concentraciones de alimentación. Recuperación posible.	Consecución de un alto grado de pureza para reciclar y reutilizar el agua. Aumento de la concentración de los contaminantes para tratamiento ulterior. Recuperación posible.
<b>Límites de aplicación</b>	Evitar agentes complejantes. El ajuste de pH es importante. No aplicable si la concentración es menor que la solubilidad del precipitado.		A evitar una alta fuerza iónica. Límite de temperatura de unos 60 °C. Los agentes corrosivos dañan la resina.	Concentraciones que producen presiones osmóticas demasiado altas para operar. Baja resistencia térmica y química.
<b>Consumibles</b>	Agente de precipitación. Floculante / coagulante Energía para bombas	Agentes químicos de cristalización. Energía.	Líquido de regeneración. Supresores de ensuciamiento. Energía.	Agentes químicos para limpieza. Energía: 1-3 kWh/m <sup>3</sup> (NF) 1-3 kWh/m <sup>3</sup> (RO) Caída de presión: 0,5-3 MPa (NF) 2-100 MPa (RO)
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Desecho de lodo. Posible emisiones de olor.	Una sobredosificación de agentes de cristalización puede producir una alta carga de sales. Normalmente no se producen residuos o lodos.	La regeneración devuelve altas concentraciones de soluciones de metales pesados (recuperación o desecho).	El concentrado requiere tratamiento ulterior, ej. mediante intercambio iónico.
<b>Requisitos de espacio</b>		Comparables a intercambio iónico y NF/RO	Comparables a cristalización y NF/RO	Comparables a cristalización e intercambio iónico.
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>			80-99	Hg inorgánico >90 (NF) Hg orgánico >90 (NF) Compuestos de Cd >90 (NF) Cerca del 100 % con RO
<b>Emisiones alcanzables [mg/l]</b>	Para metales pesados, depende mucho del proceso de producción que los origina.	Zn 1 Ni 1	0,1-10	Muy bajas (casi cero) con RO
<b>Adaptabilidad</b>	Sí		Relativamente fácil.	

<sup>1</sup> altura con relleno de 1 m, diámetro 1 m, incluido recipiente, válvulas y resina

**Tabla 4.5.**  
**Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para sales inorgánicas (sin incluir metales pesados)**

	Evaporación	Intercambio iónico	Osmosis inversa (RO)	Eliminación biológica de sulfatos
<b>Finalidad</b>	Destilación de agua dejando un concentrado como residuo en el fondo.	Sustitución de cationes por iones H <sup>+</sup> , y de aniones por OH <sup>-</sup> , sustituyendo las sales por agua.	Separación de todos los contaminantes del agua mediante permeación con membrana.	Reacción anaeróbica del sulfato a azufre vía sulfuro.
<b>Aplicación</b>	Hacer cristalizar las sales inorgánicas y separarlas del agua residual. Concentrar también otras sustancias no volátiles. En principio es posible la recuperación de sustancias.	Soluciones que contengan sales, también con metales pesados. Recuperación posible.	Consecución de un alto grado de pureza para reciclar y reutilizar el agua. Aumento de la concentración de los contaminantes para tratamiento ulterior. Recuperación posible.	Eliminación de sulfatos de aguas que contengan grandes cantidades. También puede eliminar metales pesados en forma de sulfuros. Recuperación del sulfuro generado.
<b>Límites de aplicación</b>	Evitar las sustancias espumantes.	A evitar una alta fuerza iónica. Límite de temperatura de unos 60 °C. Los agentes corrosivos dañan la resina.	Concentraciones que producen presiones osmóticas demasiado altas para operar. Baja resistencia térmica y química.	Reacción muy lenta, es decir, tiempo de residencia largo. La relación DQO/sulfato debe ser al menos 1:1.
<b>Consumibles</b>	Agentes químicos cuando es necesario pretratamiento. Vapor 5-16 kg agua/kg vapor Energía	Líquido de regeneración. Supresores de ensuciamiento. Energía para las bombas.	Agentes químicos para limpieza Energía: 1-3 kWh/m <sup>3</sup> Caída de presión: 2-100 MPa	Agentes químicos (agente neutralizante, sustancia que aporte DQO, floculante) Energía
<b>Efectos sobre otros medios</b>	El condensado puede requerir tratamiento ulterior. Emisión de ruido.	La recuperación devuelve altas concentraciones de sales eliminadas (recuperación por tratamiento del residuo acuoso o desecho).	El concentrado requiere tratamiento ulterior, ej. mediante intercambio iónico, para permitir su recuperación.	Azufre que se utiliza para procesos de producción (ácido sulfúrico).
<b>Requisitos de espacio</b>	Comparativamente bajos.	Comparativamente bajos.	Comparativamente bajos.	
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	Eliminación completa de sales.	80-99	Cerca del 100 %	sulfatos: 94 zinc: 99,8 cadmio: >99
<b>Emisiones alcanzables [mg/l]</b>		0,1-10	Muy bajas (casi cero)	sulfatos: 75 zinc: 0,05-0,15 cadmio: <0,01
<b>Adaptabilidad</b>		Relativamente fácil		

<sup>1</sup> altura con relleno de 1 m, diámetro 1 m, incluido recipiente, válvulas y resina

- Contaminantes inadecuados para tratamiento biológico  
Aparte de los contaminantes detallados en las secciones anteriores, hay corrientes tributarias de aguas residuales que no son adecuadas para tratamiento biológico, ya que contienen:
  - DQO poco o no biodegradable.
  - Sustancias tóxicas que inhiben el proceso biológico

Por lo tanto, debe evitarse su descarga a una planta de tratamiento biológico. Si no es posible prever qué contaminantes son inhibidores de los procesos biológicos en una EDAR, ya que esto depende de la adapta-

ción a los contaminantes especiales de los microorganismos que trabajan en esta planta. No hay diferencia si el agua residual se conduce a una EDAR biológica dentro del complejo químico industrial o a una PTAR municipal. Las condiciones para el tratamiento previo de los contaminantes inadecuados para tratamiento biológico son en ambos casos los mismos.

Es MTD:

- o Evitar la introducción de componentes del agua residual en sistemas de tratamiento biológico cuando puedan causar el funcionamiento incorrecto de tales sistemas.
- o Tratar las corrientes de aguas residuales tributarias con una parte no biodegradable relevante mediante técnicas adecuadas, descritas en la Sección 3.3.4.2 y listadas en la Tabla 4.6 antes o en lugar de un tratamiento biológico final. La elección concreta de la técnica de tratamiento apropiada depende de la situación concreta, la composición de la corriente de agua residual, la situación de la PTAR biológica (si se utiliza) y la adaptación de sus microorganismos y los requisitos del agua receptora. Se trata de un aspecto específico de cada complejo.

#### **Discrepancia**

Un Estado Miembro expresa la opinión de que el criterio de “parte no biodegradable relevante” debe ser definido de forma más detallada dando un conjunto de valores indicativos para COT recalitrante (ver Sección 3.3.4.2) en las corrientes de aguas residuales.

- o Utilizar técnicas que permitan la recuperación de sustancias cuando sea viable, como (ver Tabla 4.6):
  - Nanofiltración / ósmosis inversa (NF / RO)
  - Adsorción, usando la variante más adecuada (para detalles, Sección 3.3.4.2.9)
  - Extracción
  - Destilación / Rectificación
  - Evaporación
  - Desorción
- o Eliminar el contenido de amoníaco relevante de las corrientes de aguas residuales en origen, utilizando, por ejemplo, desorción con aire o vapor, según se describe en la Sección 3.3.4.2.14.
- o Utilizar técnicas que no requieran combustible adicional, cuando otras técnicas de eliminación alcanzan resultados suficientes y si la recuperación no es factible. Cuando se utilice una EDAR biológica final, puede ser suficiente descomponer la carga orgánica refractaria en sustancias biodegradables, mediante técnicas tales como (ver Tabla 4.6):
  - Oxidación química (con una evaluación minuciosa de si se generan cloruros orgánicos cuando se utilicen agentes que contengan cloro)
  - Reducción química
  - Hidrólisis química
- o Utilizar oxidación por aire e incineración sólo cuando no haya otra elección para eliminar toxicidad o efectos inhibitorios, o cuando el proceso pueda operar de forma autosostenida o sea la única forma de cumplir los requisitos de descarga sin tratamiento biológico.
- o Tener en cuenta el consumo de agua con técnicas de tratamiento como:
  - Extracción
  - Destilación / Rectificación
  - Evaporación
  - Desorción,

que requieren considerables cantidades de agua de refrigeración o precisan sistemas de lavado húmedo para recuperar los contaminantes de la fase gaseosa, cuando esto pueda ser un factor importante. Cuando la escasez de agua sea un factor importante, una segunda opción de técnica de tratamiento puede ser preferible en la consideración de MTD.

- Sustancias biodegradables

Es MTD:

- Eliminar las sustancias biodegradables del agua de proceso mediante sistemas de tratamiento biológico según se describe en la Sección 3.3.4.3 y la Tabla 4.7 o una combinación apropiada de las mismas.

Cuando se apliquen procesos anaerobios, a menudo se requerirá un paso de tratamiento aerobio subsiguiente.

- Utilizar pretratamiento biológico cuando las corrientes tributarias relevantes lleven una alta carga orgánica biodegradable para aliviar la EDAR central final, si es una opción viable. El tratamiento anaerobio puede ser una opción para aprovechar la energía que ofrece la generación de metano, que puede combustionarse. Otra ventaja del pretratamiento anaerobio es la considerable reducción global del exceso de lodo activado en la EDAR biológica corriente abajo. Cuando la eficacia de eliminación de DQO de los procesos globales de tratamiento de aguas residuales es alta, pero la concentración a descargar es considerablemente mayor que el nivel asociado con las MTD en la Tabla 4.8, es una indicación de que las corrientes tributarias con cargas elevadas requieren pretratamiento biológico.
  - Utiliza instalaciones de pretratamiento o limpieza, según lo descrito en la Tabla 4.7, si los compuestos con baja biodegradabilidad (aunque no compuestos recalcitrantes o tóxicos) no son eliminados suficientemente por el tratamiento biológico central de aguas residuales. Son técnicas adecuadas los reactores de lecho fijo, que permiten un tiempo de residencia más largo y por tanto mayores índices de degradación.
  - Aplicar técnicas de eliminación de nitrógeno (nitrificación / desnitrificación) según lo descrito en la Sección 3.3.4.3.4 cuando el agua residual contenga una carga de nitrógeno relevante que pudiera causar concentraciones considerablemente mayores que el nivel de emisión asociado con MTD de Tabla 4.8. Las dos técnicas descritas son MTD. En condiciones favorables, son fácilmente adaptables a una EDAR central existente. Cuando sólo las corrientes tributarias lleven cargas de nitrógeno considerables (amonio, nitrato, nitrito, N-Kjeldahl), es preferible su tratamiento separado, que ahorra costes, ya que un equipo pequeño para nitrificación / desnitrificación no es excesivamente caro.
- EDAR quimiomecánica central  
Cuando no hay contaminantes biodegradables, es MTD:
    - o Usar una combinación de tratamiento químico (para neutralización y precipitación de los componentes de las aguas residuales) y tratamiento mecánico (para la eliminación de sustancias sin disolver, incluyendo tamizado, clarificación y filtración) como etapa quimiomecánica.
  - EDAR biológica central  
Cuando se utilice una EDAR biológica central, es MTD:
    - o Evitar la introducción de contaminantes no biodegradables del agua residual en la planta de tratamiento biológico central, en caso de que puedan causar el funcionamiento incorrecto del sistema de tratamiento y cuando la planta no sea adecuada para su tratamiento.
    - o Retener en tanques intermedios las corrientes de aguas residuales entrantes, corriente arriba de la sección de tratamiento, a fin de equalizar la carga de contaminantes y aprovechar efectos sinérgicos.
    - o Tratar el agua residual entrante, según se describe en la Sección 3.3.4.3.5, mediante una combinación de:
      - Clarificador primario con estación de mezcla previa.
      - Dispositivo de aireación en una o dos etapas (balsa o tanque) con clarificador subsiguiente.
      - Filtración o flotación por aire para proteger el agua receptora del exceso de lodo activado no fácilmente separable, como lodo voluminoso.
      - Como alternativa a los puntos 2 y 3: balsa o tanque de aireación con membrana de MF o UF sumergida.
      - Una opción adicional como tratamiento final es un biofiltro de lecho fijo para tratar la DQO refractaria en caso necesario debido a los requisitos normativos.

En general, el nivel de emisión asociado con las MTD para DBO después de tratamiento biológico es de <20 mg/l. En el caso de lodo activado, una aplicación típica es una etapa biológica de baja carga con una carga diaria de DQO de  $\leq 0,25$  kg/kg lodo.

**Tabla 4.6.**  
**Técnicas de tratamiento asociadas con MTD para contaminantes inadecuados para tratamiento biológico**

	Reacciones químicas			Oxidación por aire	
	Oxidación	Reducción	Hidrólisis	Oxidación por aire húmedo	Oxidación en agua supercrítica (SCWO)
<b>Finalidad</b>	Conversión de contaminantes mediante H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> con UV o sales ferrosas, O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> /UV, Cl <sub>2</sub> , ClO <sub>2</sub> , OCl <sup>-</sup>	Conversión de contaminantes mediante SO <sub>2</sub> , NaHSO <sub>3</sub> , FeSO <sub>4</sub> , NaHS	Reacción de contaminantes orgánicos e inorgánicos con agua, descomponiéndolos en compuestos más pequeños.	Reacción con O <sub>2</sub> en fase acuosa, a alta temperatura y alta presión, normalmente en presencia de un catalizador (ver Sección 3.3.4.2.4)	Oxidación con aire húmedo en la región supercrítica del agua, es decir, presión >22.1 MPa, temperatura >374 °C.
<b>Aplicación</b>	Oxidación de materia inorgánica. Oxidación de materia orgánica para proteger la EDAR biológica o transformarla en materia biodegradable. Puede sustituir al tratamiento biológico.	Reducción de materia inorgánica.	Dstrucción de sustancias no biodegradables en compuestos biodegradables más pequeños. Amplio rango de concentración (1 mg/l – 100 g/l)	Oxidación de compuestos orgánicos. Protección de la EDAR biológica de materia recalcitrante. Conversión de DQO refractaria en biodegradable. Puede sustituir el tratamiento biológico.	Dstrucción de contaminantes con baja biodegradabilidad y/o alta toxicidad. Puede sustituir el tratamiento biológico.
<b>Límites de aplicación</b>	La radiación UV requiere soluciones libres de sólidos. Cuidado con los contaminantes orgánicos a tratar y los agentes de oxidación clorados.	Número limitado de aplicaciones. Control estricto de pH y potencial redox.	No adecuado para contaminantes con baja solubilidad en agua.	No recomendable para bajas concentraciones de DQO Fluoruro < 10 mg/l Bajas cargas de sal (corrosión).	
<b>Consumibles</b>	Agente oxidante. Agente para destruir el exceso de oxidante. Energía	Agente reductor. Agente para destruir el exceso de reductor. Energía	Vapor / agua caliente para calentamiento. Compuestos químicos para ajustar el pH y el potencial redox. Energía	Aire u oxígeno. Energía para temperatura y presión.	Aire u oxígeno. Energía para temperatura y presión.
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Los agentes de oxidación clorados pueden crear AOX adicionales con contaminantes orgánicos.	Las emisiones de gases de escape deben conducirse a tratamiento corriente abajo.	Es posible la emisión de sustancias olorosas o volátiles.	Las emisiones acuosas y de gases de escape pueden requerir tratamiento ulterior corriente abajo.	Las emisiones acuosas y de gases de escape pueden requerir tratamiento ulterior corriente abajo.
<b>Requisitos de espacio</b>					
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	COT: >90 (ver Sección 3.3.4.2.3)			DQO: 60-90 (baja presión) 99 (alta presión) (ver Sección 3.3.4.2.3)	Compuestos orgánicos: >99
<b>Emisiones alcanzables [mg/l]</b>					
<b>Adaptabilidad</b>					

Tabla 4.6. Continuación

	NF / RO	Adsorción	Extracción
<b>Finalidad</b>	Separación de la mayoría de contaminantes .	Transferencia de contaminantes solubles de la fase acuosa a un adsorbente sólido.	Transferencia de contaminantes solubles de la fase acuosa a un disolvente.
<b>Aplicación</b>	Consecución de un alto grado de pureza para reciclar y reutilizar el agua. Aumento de concentración de los contaminantes para requisitos de tratamiento ulterior. Recuperación posible.	Eliminación de contaminantes orgánicos no biodegradables, coloreados, olorosos y/o tóxicos. Aumento de concentración para opciones de tratamiento ulterior (ej. incineración), Recuperación posible.	Eliminación de contaminantes orgánicos no biodegradables y/o tóxicos con alta concentración. Pretratamiento para la adsorción con el fin de reducir la carga de alimentación. Recuperación posible. No adecuada como tratamiento final.
<b>Límites de aplicación</b>	Concentraciones que producen presiones osmóticas demasiado altas para operar. Baja resistencia térmica y química.	Baja carga de contaminantes, de lo contrario el adsorbente se agota demasiado pronto. Límite de SST por obstrucciones. Su eficacia depende de las propiedades físicas del contaminante (baja eficacia con bajo peso molecular, alta polaridad, alta solubilidad).	Agua residual preferiblemente libre de SST y emulsiones. Depende de la idoneidad del disolvente, por lo que su aplicación es limitada.
<b>Consumibles</b>	Agentes químicos para limpieza. Alto consumo de energía.	Adsorbente Agentes de regeneración. Energía para las bombas y el proceso de regeneración (temperatura elevada).	Restitución de la pérdidas de disolvente. Energía para bombeo. Energía para la recuperación subsiguiente de disolvente (ej. destilación / rectificación).
<b>Efectos sobre otros medios</b>	El concentrado requiere tratamiento ulterior, por ejemplo por extracción o incineración (si no se recupera).	Los gases de escape de la regeneración requieren tratamiento. La regeneración genera residuos (si no se recuperan).	El agua residual requiere tratamiento para deshacerse del disolvente disuelto, por ejemplo mediante desorción. Residuo en el fondo de la recuperación, si no se recupera, para incineración. El gas de escape de extracción y recuperación requiere tratamiento de gas residual, por ejemplo adsorción o incineración.
<b>Requisitos de espacio</b>		Normalmente al menos dos columnas por aplicación.	
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	Alta eficacia (ver Sección 3.3.4.2.8).	Alta eficacia, según el contaminante (ver Sección 3.3.4.2.9)	Buena eficacia para contaminantes especiales con alta concentración de alimentación.
<b>Emisiones alcanzables [mg/l]</b>			
<b>Adaptabilidad</b>			

Tabla 4.6. Continuación

	<b>Destilación / rectificación</b>	<b>Evaporación</b>	<b>Desorción</b>	<b>Incineración de agua residual</b>
<b>Finalidad</b>	Transferencia de contaminantes volátiles de la fase acuosa a la fase vapor, condensando luego la fase vapor enriquecida.	Destilación de agua, dejando un residuo concentrado en el fondo.	Transferencia de contaminantes volátiles a la fase gaseosa inyectando aire o vapor a través del agua residual.	Oxidación térmica de contaminantes y evaporación simultánea de agua, realizada con o sin catalizador.
<b>Aplicación</b>	Recuperación del grueso de contaminantes del agua residual. Tratamiento previo para eliminar el contaminante principal antes de enviarlo a tratamiento ulterior. Uso restringido.	Concentración de corrientes de agua residual para reciclar sustancias valiosas o antes de su aprovechamiento térmico.	Eliminación de compuestos inorgánicos y orgánicos volátiles. Recuperación posible.	Eliminación de contaminantes nocivos o inhibitorios que no puedan tratarse de otro modo o no estén suficientemente concentrados para hacer que la incineración sea autosostenible. Tecnología de eliminación.
<b>Límites de aplicación</b>	Se requiere una gran concentración de alimentación. La diferencia de punto de ebullición entre el agua y los compuestos volátiles debe ser lo bastante grande.	Evitar las sustancias espumantes. No aplicable a contaminantes volátiles.	El líquido debe tener un bajo contenido de SST. Restringida a contaminantes volátiles.	El contenido de halógenos y azufre requiere tratamiento especial del gas residual.
<b>Consumibles</b>	Vapor para calentamiento. Energía	Agentes químicos cuando se requiere pretratamiento. Vapor 5-16 kg agua/kg vapor Energía	Agentes antiensuciamiento Si se usa vapor: 0,1-0,3 tonelada/m <sup>3</sup> Energía 680 kW/m <sup>3</sup>	Combustible de apoyo (con baja concentración de COT) Energía
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Se requiere tratamiento ulterior. El gas de escape debe conducirse a tratamiento de gas residual, por ejemplo mediante incineración.	El condensado puede requerir tratamiento ulterior. Emisión de ruido.	Las corrientes de gas requieren tratamiento (lavado, adsorción, oxidación catalítica, incineración).	Con bajo contenido de COT, alto consumo de energía. Emisiones de gases de combustión.
<b>Requisitos de espacio</b>		Comparativamente bajos		
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	Buena eficacia para contaminantes especiales en condiciones especiales.	Eliminación casi completa de contaminantes, siempre que no haya sustancias volátiles presentes.	Buena eficacia (ver Sección 3.3.4.2.14)	Casi un 100 % de eficacia de eliminación de compuestos orgánicos.
<b>Emisiones alcanzables [mg/l]</b>				
<b>Adaptabilidad</b>				

<sup>1</sup> Desorbedor de agua amarga, 30-32 m<sup>3</sup>/h

Tabla 4.7.  
Técnicas de tratamiento asociadas con las MTD para técnicas de tratamiento biológico

	Tratamiento biológico anaerobio	Tratamiento biológico aerobio			
		Lodo activado (mixto) / biorreactor con membrana	Filtro de goteo / percolación	Lecho expandido	Lecho fijo con biofiltro
<b>Finalidad</b>	Conversión de contenido orgánico por microorganismos y exclusión de aire (oxígeno)	Conversión de contenido orgánico por microorganismos en presencia de oxígeno disuelto, inyectado como aire u oxígeno puro (para detalles, ver Sección 3.3.4.3.3).			
<b>Aplicación</b>	Pretratamiento de cargas orgánicas elevadas y corrientes de calidad constante.	Pretratamiento de cargas orgánicas elevadas. Tratamiento final en corrientes tributarias. Utilizado como EDAR central.	Como parte de una EDAR central (primera etapa o pretratamiento) para reducir los contaminantes más fácilmente degradables y mejorar la calidad del lodo.	Pretratamiento de cargas orgánicas elevadas. Tratamiento final de corrientes pequeñas.	Paso de pretratamiento directo o de limpieza tras el proceso con lodo activado en una EDAR central. Buenas condiciones para microorganismos de crecimiento lento.
<b>Límites de aplicación</b>	Prevención de sustancias tóxicas, ya que el proceso es muy sensible.	Hay que evitar altas concentraciones, incluso de sustancias no tóxicas. Hay que evitar los inhibidores, aunque los microorganismos bien adaptados pueden adaptarse a bajas concentraciones de inhibidor. Temperatura máxima 30-35 °C. Las concentraciones de sales deben ser <30 g/l.			
<b>Consumibles</b>	Agentes neutralizantes. Energía	Aire u oxígeno. Agentes neutralizantes. Floculantes: 300-550 kg por tonelada DQO Nutrientes: 23-42 kg/tonelada DQO Energía: 9.5 kWh/m <sup>3</sup>	Aire. Agentes neutralizantes. Energía	Aire. Agentes neutralizantes. Energía	Aire. Agentes neutralizantes (cuando se utiliza como pretratamiento) Energía
<b>Efectos sobre otros medios</b>	El biogás con un 70 % de CH <sub>4</sub> puede usarse como gas combustible. Sólo un 10 % de exceso de lodo en comparación con el tratamiento biológico aerobio.	Exceso de lodo unas 10 veces la cantidad del tratamiento biológico anaerobio, requiere tratamiento. Alto aporte de energía debido a la aireación. Emisión de olor y ruido.	Exceso de lodo.	Exceso de lodo.	Exceso de lodo. Sin emisión de olor.
<b>Requisitos de espacio</b>	Menos que el tratamiento aerobio.	Grandes para EDAR central.	Comparativamente bajos.	Comparativamente bajos.	Comparativamente bajos.
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	DQO: 75-90 En combinación con t. aerobio DQO: 95-97 DBO: 99-99,8	DBO: 97-99,5 DQO: 76-96 90-96 (membrana) Índice fenólico: >99 total N inorg.: 82 (membrana) NH <sub>4</sub> -N: 96 (membrana)	BOD: 40-90 (1 etapa) 85-95 (2 etapas)	BOD: >98 DQO: 90	DQO refractaria: 26-68 Índice fenólico: 75-98 AOX: 55-98 total N inorg.: 4-50
<b>Emisiones alcanzables [mg/l]</b>		SST: 10 (PTAR central)			
<b>Adaptabilidad</b>	Se requieren recipientes de gas o antorcha para manejar el metano.	Depende del tamaño.	Fácil	Fácil	Fácil

• Descarga de aguas residuales a aguas superficiales

Después de los procedimientos de tratamiento mencionados en las secciones anteriores de este capítulo, el agua residual tratada se descarga a un cuerpo acuático receptor (río, lago o mar).

Es MTD una combinación adecuada de:

- o Evitar una situación de descarga como una carga hidráulica excesiva o agua residual tóxica que pueda causar daños al lecho del río, las márgenes o la biosfera del agua receptora.
- o Elegir, cuando sea posible, un punto de descarga en las aguas superficiales en las que el agua residual quede dispersada de forma más eficaz. Esto minimiza el impacto sobre la biosfera acuosa. Esta medida no pretende sustituir las técnicas de tratamiento.
- o Equilibrar el agua residual que no proceda de una EDAR central para reducir su impacto sobre el cuerpo acuático receptor y para cumplir los requisitos de descarga antes de la misma.
- o Aplicar un sistema de monitorización para comprobar la descarga de agua con una frecuencia de monitorización adecuada (ej.: frecuencia de muestreo entre 8 y 24 horas).
- o Realizar una evaluación de toxicidad como instrumento complementario con el fin de obtener (más) información sobre la eficacia de las medidas de control y/o sobre la evaluación de riesgo para el cuerpo acuático receptor. La aplicación de la evaluación de toxicidad, por lo que respecta a su necesidad, los métodos a utilizar y su programación, debe determinarse en cada caso concreto.

Los niveles de emisión asociados con MTD para la descarga final del agua residual a las aguas superficiales se detallan en la Tabla 4.7. Estos valores deben entenderse como emisiones sin dilución con agua de lluvia y/o agua de refrigeración no contaminada. Para una mejor comparabilidad de estrategias con o sin EDAR biológica central, la eficacia con respecto a la DQO está basada en la carga contaminante bruta, es decir, la carga antes de los procedimientos de tratamiento y reciclaje / recuperación.

**Tabla 4.8.**  
**Niveles de emisión asociados con MTD para descarga de aguas residuales a un cuerpo acuático receptor**

Parámetro <sup>a</sup>	Índices de eficacia [%]	Niveles de emisión [mg/l] <sup>b</sup>
SST		10-20 <sup>c</sup>
DQO	76-96 <sup>d</sup>	30-250
N inorgánico total <sup>e</sup>		5-25
P total		0,5-1,5 <sup>f</sup>
AOX		

<sup>a</sup> para DBO, ver sección anterior sobre tratamiento biológico central.  
<sup>b</sup> media diaria, excepto SST.  
<sup>c</sup> media mensual.  
<sup>d</sup> índices de eficacia bajos para bajas concentraciones de contaminantes.  
<sup>e</sup> suma de NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N y NO<sub>3</sub>-N (un parámetro más recomendable sería N total. Por falta de información sobre N total, aquí se utiliza N inorgánico total).  
<sup>f</sup> rango inferior de la alimentación de nutrientes en la PTAR biológica, rango superior de procesos de producción.

No han podido determinarse niveles asociados con MTD para metales pesados que sean representativos del sector químico en su conjunto. Los motivos de esta situación son:

- Los niveles de emisión de metales pesados alcanzables después de tratamiento en origen dependen en gran medida del proceso de producción en el que se generan.
- Los niveles dependen de la composición concreta del agua residual.
- Las concentraciones de descarga dependen de la mezcla de aguas residuales específica de los distintos procesos de producción del complejo, ya que no hay tratamiento ulterior después del tratamiento en origen.

Como compensación por la falta de niveles de emisión asociados con MTD para la descarga en aguas residuales de metales pesados, se dan ejemplos de tales descargas en el Anexo 7.6.4. Estos ejemplos pretenden mostrar el rango de emisiones de metales pesados de complejos químicos de diversas complejidades.

### Discrepancia

Un Estado Miembro Insistió en definir los niveles de emisiones asociados con MTD para metales pesados en base a los ejemplos dados en el Anexo 7.6.4. En su opinión, al seguir la estrategias de prevención, tratamiento previo y tratamiento central descrita anteriormente (ver sección sobre metales pesados), es posible definir valores de emisiones asociados con MTD para metales pesados que son válidos para muchos complejos químicos. Es posible alcanzar los siguientes valores medios a largo plazo (valores anuales de muestras mixtas de 24 h) en algunos ejemplos de complejos químicos en el punto de descarga / última etapa de tratamiento del agua residual (sin dilución del agua residual con agua de lluvia y agua de refrigeración): Cd 0,02 – 0,833 µg/l; Hg 0,01 – 0,84 µg/l; Pb 10 – 100 µg/l; Cr 10 - 30 µg/l; Cu 20 – 60 µg/l; Ni 10 – 80 µg/l; Zn 4 – 174 µg/l. También afirman que los valores están influenciados por la parte de las producciones relevante a los metales pesados, y que por lo tanto dependen de la mezcla de productos, lo que puede causar valores más elevados en casos especiales, especialmente en la producción de productos de química fina. Con respecto a las emisiones al alcantarillado público, debería tenerse en cuenta el efecto de la EDAR de modo que se asegurara que los metales pesados no son transferidos a otros medios.

El WG no secundó esta solicitud, afirmando que no sería útil definir niveles de emisión asociados con las MTD que estuvieran influenciados por combinaciones particulares de corrientes de aguas residuales en complejos de producción particulares, produciendo valores que podrían o no ser válidos en casos reales. Por consiguiente, se registra una discrepancia.

La situación con los niveles de emisión asociados con MTD para AOX es comparable a la de los metales pesados. La mezcla de producción específica en un centro dado influye en gran medida sobre la cantidad de AOX descargada, por lo que no es posible obtener niveles válidos para el sector químico en su conjunto. Además, los AOX no son ni siquiera un parámetro normativo en la mayoría de Estados Miembros. Este podría ser el motivo de que sólo un Estado Miembro reportara datos de AOX para descarga final de aguas residuales. Los AOX deberán ser reportados rutinariamente en el EPER para el año 2003. Así, la obligación de monitorizar y reportar rutinariamente los AOX puede ser un impulso para hacer disponibles los niveles de emisión a partir de esa fecha. Hasta entonces, sin embargo, el WG no puede llegar a conclusiones sobre niveles de emisión asociados con MTD para AOX. No obstante, se subraya la necesidad de este parámetro.

### Discrepancia

Un Estado Miembro insiste en definir niveles de emisiones asociados con MTD para AOX en base a los ejemplos datos en el Anexo 7.6.2. Se afirma que en este Estado Miembro, en algunos complejos químicos con producción de compuestos químicos organoclorados y plantas de tratamiento central de aguas residuales, se alcanzan niveles de emisión entre 0,16 y 1,7 mg/l.

El WG no secundó esta solicitud. Los ejemplos presentados (ver Anexo 7.6.2) fueron interpretados como consistentes en distintos conjuntos de datos estadísticos que no permitían definir niveles de emisión asociados con las MTD. Incluso se indicó que uno de los niveles de emisión de AOX más bajos reportados como ejemplos representaba un mal comportamiento, mientras que el nivel de emisión más elevado del conjunto de datos provenía de un complejo con muy buen comportamiento. En estas condiciones, el WG consideró inadecuado dar niveles de emisión asociados con MTD para AOX. Por consiguiente, se registra una discrepancia.

Los niveles de emisión asociados con MTD detallados en la Tabla 4.7 reflejan los niveles de emisión después del tratamiento biológico central. Cuando el agua residual se conduce a una EDAR municipal, necesita demostrarse, por ejemplo mediante ensayos de laboratorio apropiados u otros métodos, que es posible alcanzar resultados equivalentes. La estrategia de tratamiento descentralizado es equivalente al tratamiento biológico final cuando consigue resultados comparables.

#### • MTD para tratamiento de lodo

- Cuando se tratan lodos de instalaciones de aguas residuales en un complejo químico industrial, es MTD:
- o Utilizar las técnicas descritas en la Sección 3.4, teniendo también en cuenta el desecho en vertedero.
  - o Concentrar el lodo mediante las técnicas descritas en la Sección 3.4.1.
  - o Estabilizar el lodo para tratamiento ulterior o desecho mediante las técnicas descritas en la Sección 3.4.2.

- o Utilizar la energía residual de los procesos de producción química en la medida de lo posible cuando se utilice tratamiento térmico del lodo, por ejemplo secado, según lo descrito en la Sección 3.4.3.
- o Utilizar un tratamiento apropiado de gases residuales cuando se utilice incineración de lodo, según se describe en la Sección 3.4.3.

El tratamiento externo no se tiene en consideración, ya que no entra en el ámbito del presente documento. Esto no debe considerarse en absoluto una conclusión de MTD contra el tratamiento externo por empresas subcontratadas.

#### 4.3.2. Sección de gases residuales

Esta sección está dedicada a la determinación de las MTD para tratamiento de gases residuales en un complejo químico industrial.

##### MTD para medidas integradas en el proceso

Al igual que con el agua residual, las medidas integradas en el proceso son el método preferido para prevenir o reducir la cantidad de gas residual y de contaminación del aire de escape, pero generalmente son específicas de cada producción o proceso y su aplicabilidad requiere una evaluación especial, que entra en el ámbito de los BREF verticales sobre el sector químico y sectores relacionados. Las conclusiones sobre MTD para medidas integradas en el proceso en este documento hacen por lo tanto referencia a la necesidad general de aplicar estas medidas en una línea de producción.

Es MTD:

- Utilizar medidas integradas en el proceso con preferencia a técnicas de postproducción (end of pipe) cuando haya elección (ej. en el caso de NO<sub>x</sub> de procesos de combustión, el uso de técnicas de reducción primarias, como quemadores bajos en NO<sub>x</sub>, con preferencia a técnicas de tratamiento secundarias).
- Evaluar las instalaciones de producción existentes para opciones de modernización mediante medidas integradas en el proceso y aplicarlas cuando sea viable, o como mucho cuando la instalación se vea sometida a modificaciones importantes. La observación de las reglas de seguridad es un punto crucial a la hora de evaluar las líneas de producción existentes para opciones de modernización, ya que algunas podrían no permitir la aplicación de ciertas medidas integradas en el proceso debido a riesgo de explosión o corrosión.
- Evaluar las instalaciones de producción existentes para opciones de reducción en origen de contaminantes gaseosos y aplicar tales opciones si es viable (asimismo en condiciones de seguridad). La reducción de contaminantes en origen reduce la cantidad de gas residual a tratar. Grandes cantidades de gas residual innecesario significan la instalación de equipos más grandes de lo necesario, lo que no es rentable.
- Considerar en la medida de lo posible todas las opciones para reducción en origen a la hora de planear una nueva instalación o modificaciones importantes.

##### MTD para recogida de gases residuales

Los sistemas de recogida de gases residuales se instalan para dirigir las emisiones gaseosas a sistemas de tratamiento. Consisten en la caja de la fuente de emisión, ventilaciones y tuberías.

Es MTD:

- Minimizar el caudal de gas a la unidad de control aislando las fuentes de emisión todo cuanto sea factible. No obstante, la operatividad del sistema, los aspectos de seguridad, la calidad del producto y los aspectos de higiene tienen prioridad, como se describe en la Sección 2.2.4.2.
- Prevenir el riesgo de explosión mediante:
  - o La instalación de un detector de inflamabilidad dentro del sistema de recogida cuando el riesgo de que se produzca una mezcla inflamable sea significativo.
  - o El mantenimiento de la mezcla de gases de forma segura por debajo del límite de explosión inferior (LEI) agregando aire suficiente para limitarlo al 25 % del LEI, agregando gas inerte, en lugar de aire, o trabajando en atmósfera inerte en el recipiente de producción. La otra opción es mantener la mezcla de gases de forma segura por encima del límite de explosión superior (LES).
- Instalar equipo apropiado para prevenir la ignición de mezclas inflamables de gas-oxígeno o minimizar sus efectos, como evitadores de explosión y bidones herméticos.

##### MTD para tratamiento de gases residuales

El enfoque para llegar a conclusiones sobre MTD sigue el recorrido de los contaminantes, según se describe en la Sección 3.5 y se ilustra en la figura 3.45. Los aspectos regionales, como clima, disponibilidad de agua, energía o materia prima, inaccesibilidad del complejo o dificultades para desecho de residuos, pueden hacer que las técnicas de uso común sean inadecuadas para un complejo químico industrial, que puede requerir el desarrollo especial de técnicas de tratamiento.

Según su tratamiento, se distinguen las siguientes fuentes de gases residuales:

- Fuentes de baja temperatura, como procesos de producción, manipulación de productos químicos (incluidas actividades de almacenaje que causen emisiones) preparación de productos.
- Fuentes de alta temperatura, como procesos de combustión, que incluyen instalaciones como calderas, plantas de energía, incineradores de proceso y oxidadores catalíticos y térmicos.

Las emisiones de ambos grupos tienen contaminantes especiales a considerar. El primer grupo puede consistir en:

- Polvo sólo, es decir, materias primas o productos sólidos finamente dispersados en el aire.
- COV de compuestos utilizados en producción o evaporados de un tanque, con o sin contenido de polvo.
- Compuestos inorgánicos volátiles de producción o preparación, con o sin contenido de polvo.
- Mezcla de COV y compuestos inorgánicos, con y sin contenido de polvo.
- Neblinas.

El orden de las técnicas de tratamiento usadas en estos casos es:

- 1º paso: Eliminar cantidades considerables de materias sólidas o neblinas antes del tratamiento ulterior de componentes gaseosos si este tratamiento no es adecuado para concentraciones elevadas de polvo o neblina.
- 2º paso: Eliminar los contaminantes gaseosos.
- 3º paso: Si el segundo paso no puede alcanzar los niveles de emisión requeridos, es necesaria una eliminación adicional como etapa de limpieza final.

El segundo grupo – procesos a alta temperatura – consiste en una mezcla de:

- Partículas
- Compuestos halogenados (principalmente HCl, HF y Cl<sub>2</sub>)
- Monóxido de carbono
- Oxidos de azufre (principalmente SO<sub>2</sub>)
- NO<sub>x</sub>
- Posiblemente dioxinas.

MTD para tratamiento de gases residuales originados en procesos de producción, manipulación de materias y elaboración de productos.

- Polvo

La MTD es una combinación adecuada de:

- Eliminación de partículas y aerosoles / gotas de las corrientes de gas residual, usando las técnicas o combinaciones de técnicas descritas en la Sección 3.5.3 y la Tabla 4 de acuerdo con la situación dada.
- Uso de pretratamiento para evitar daños o sobrecargas en las instalaciones finales. Los daños son causados, por ejemplo, por partículas duras o grandes, o partículas que obstruyen filtros, columnas de adsorción, superficies de lavadores, superficies de membranas, catalizadores.
- Uso de técnicas de alta eficacia para eliminar cantidades considerables de partículas de tamaño inferior a una micra.
- Aplicación de filtro de neblina corriente abajo cuando se utilicen lavadores húmedos como dispositivo de tratamiento final (con un filtro HEAF, el uso de un filtro de neblina corriente abajo ya está incluido).
- Técnicas operativas en su rango de presión apropiado (relación a/c, relación caudal / superficie) para evitar daños al recipiente o emisiones de polvo de fugas en los recipientes.
- Uso de recuperación de material cuando sea viable.
- Tener en consideración el consumo de energía mediante una evaluación crítica del uso de técnicas con un consumo intensivo de energía y comparando los resultados con técnicas sin consumo de energía o con un consumo bajo.
- Tener en consideración el consumo de agua, principalmente en regiones en las que haya escasez de agua. Hay que evaluar el uso del lavado húmedo y sus resultados en comparación con técnicas sin agua.
- Uso de lavado de agua en modo de reciclaje con un número máximo de reciclajes cuando sea viable y no produzca abrasión o corrosión del recipiente del lavador.

- COV

La MTD es una combinación apropiada de:

- Eliminar los COV de las corrientes de gases residuales, mediante las técnicas (o combinación de las mismas) descritas en las Secciones 3.5.1. y 3.5.2 y listadas en la Tabla 4.10
- Uso de técnicas de recuperación como condensación, separación con membrana o adsorción cuando sea viable para recuperar materias primas y disolventes. Las corrientes de gases residuales con altas concentraciones de COV se pretratan mejor mediante técnicas como condensación o separación con

membrana / condensación para recuperar la carga principal antes de enviarlas a adsorción, lavado húmedo o combustión. En el caso de adsorción y combustión, puede tratarse también de un aspecto de seguridad, manteniendo la concentración de COV por debajo del 25 % del LEI.

- Tener en cuenta el consumo de agua (de proceso y de refrigeración) con técnicas como lavado húmedo, condensación (cuando se utiliza agua como medio de refrigeración), adsorción (cuando se emplea agua en procesos de regeneración o para enfriar la corriente de gas residual antes de que entre en la columna de adsorción) o tratamiento biológico (cuando se utiliza agua como medio de reacción). El uso de estas técnicas debe ser evaluado y comparado con los resultados de técnicas sin agua. Cuando la escasez de agua sea un aspecto importante, estas técnicas pueden llegar a ser inadecuadas en condiciones locales especiales.
- Uso de técnicas de eliminación sólo cuando la recuperación no sea factible, por ejemplo debido a concentraciones muy bajas de COV que produzcan un gasto de energía o material desproporcionado en relación con el beneficio medioambiental que se deriva.
- Evaluación de la eliminación existente de gases residuales si la recuperación de materia es viable, y aplicación de la técnica apropiada, si la respuesta es positiva.
- Preferir el tratamiento biológico de corrientes de gas residual de baja concentración a procesos de incineración si son aplicables (es decir, si el contenido y la concentración del gas residual así como las características climáticas son adecuadas, ver Sección 3.5.2.1) y si el ahorro de energía lo permite. El consumo de combustible de apoyo para la incineración de bajas concentraciones de COV es una desventaja que puede no obstante contrarrestarse si no hay otro tratamiento que sea viable para alcanzar los objetivos fijados, por ejemplo, por las restricciones legales.
- Uso de combustión de corrientes de gases residuales, especialmente cuando la operación autotérmica sea posible, cuando se requiera la eliminación de componentes peligrosos o cuando no haya disponibles otras técnicas igualmente eficaces.
- Preferir la oxidación catalítica cuando sea viable y económicamente favorable en comparación con la oxidación térmica. El contenido mucho menor de NOx en el gas de combustión emitido, la menor temperatura de operación y el menor consumo de energía le pueden conferir ventajas sobre la oxidación térmica.
- Operación de técnicas de combustión con recuperación de energía (motor a gas, incinerador regenerativo y recuperativo) cuando sean viables.
- Uso de incineración térmica cuando la incineración catalítica no sea aplicable, por ejemplo debido a los efectos venenosos del contenido del gas residual, o si la baja eficacia de destrucción de la oxidación catalítica no es suficiente para eliminar el COV correspondiente de forma apropiada.
- Aplicación de tratamiento de los gases de combustión tras la incineración cuando puedan esperarse cantidades considerables de contaminantes en el gas de escape debido a los contaminantes del gas residual expuestos a incineración, como SO<sub>2</sub>, HCl o NOx, mientras que las dioxinas no suelen ser un problema importante en la combustión de gases residuales.
- Uso de combustión en antorcha sólo para desechar de forma segura el exceso de gases combustibles procedentes por ejemplo de mantenimiento, perturbaciones o ventilaciones remotas sin conexiones a sistemas de eliminación.
- Uso de antorchas de suelo sólo cuando no sean de esperar sustancias peligrosas en el gas de combustión. Cuando se requieran antorchas, pese a la conclusión anterior, hay que evaluar las opciones de recuperación de calor y combustión con bajo nivel de NOx y, si el resultado es positivo, aplicar el equipo correspondiente.

- Otros compuestos que no sean COV

La MTD es:

- o Eliminar estos contaminantes del gas residual (haluros de hidrógeno, Cl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>, COS, NH<sub>3</sub>, HCN, NO<sub>x</sub>, CO, Hg) aplicando las técnicas apropiadas detalladas en la Tabla 4. Las técnicas apropiadas son:
  - > Lavado húmedo (agua, solución ácida o alcalina) para haluros de hidrógeno, Cl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>
  - > Lavado con disolvente no acuoso para CS<sub>2</sub>, COS
  - > Adsorción para CS<sub>2</sub>, COS, Hg
  - > Tratamiento biológico de gases para NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>
  - > Incineración para H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>, COS, HCN, CO
  - > RNCS o RCS para NO<sub>x</sub>.
- o Recuperación de cloruro de hidrógeno cuando se use agua como medio de lavado en la primera etapa de lavado, para producir una solución de ácido clorhídrico que puede utilizarse como materia prima.
- o Recuperación de NH<sub>3</sub>, cuando sea viable, mediante una técnica que permita su recuperación.

Las técnicas a considerar como MTD se detallan en la Tabla 4.10.

El WG no llegó a conclusiones sobre niveles de emisiones asociados con las MTD para gases residuales de procesos de producción. Se recomendó dejar esta tarea a los BREF verticales apropiados, ya que estos niveles se consideran específicos de cada proceso, por lo que no es posible dar niveles que consideren el sector químico en su conjunto.

**Tabla 4.9.**  
**Técnicas de tratamiento asociadas con MTD para tratamiento de partículas con corrientes de gas residual normales**

	<b>Separador</b>	<b>Ciclón (seco y húmedo)</b>	<b>PE (seco y húmedo)</b>	<b>Lavador húmedo <sup>a</sup></b>
<b>Finalidad</b>	Separación gravitatoria.	Separación gravitatoria apoyada por fuerzas centrífugas.	Separación por campo eléctrico.	Transferencia de materia de la fase gaseosa a la fase líquida.
<b>Aplicación</b>	Técnica preliminar (no independiente) a diversos sistemas de filtración para evitar arrastre o abrasión. No adecuado para gas de combustión. Recuperación posible en principio.	Control de partículas como limpieza previa para PE o filtros de mangas (técnica no independiente). Después de operaciones de secado por rociado, trituración, molienda y calcinación. Adecuado para gas de combustión. Recuperación posible en principio.	Control de partículas como tratamiento final. Después de calderas, en fabricación de compuestos químicos, refinerías, incineración y sistemas de inyección. Aplicable para material húmedo y pegajoso, mezclas inflamables (ver Sección 3.5.3.3), neblinas ácidas (PE húmedo.) Recuperación posible en principio.	Control de partículas como tratamiento final. Según la variante, para PM hasta <PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>HAP</sub> Aplicación ver Tabla 3.16 Recuperación posible en principio. También aplicable a eliminación de gas (COV, compuestos inorgánicos).
<b>Límites de aplicación</b>	Caudal: hasta 100000 Nm <sup>3</sup> /h Contenido de polvo: sin restricción Tamaño partículas: > PM <sub>50</sub> , pero también hasta PM <sub>10</sub> Temperatura dependiente del material del recipiente, normalmente hasta 540 °C.	Caudal: hasta 100000 Nm <sup>3</sup> /h (unidad simple) hasta 180000 Nm <sup>3</sup> /h (unidades múltiples) Contenido polvo: hasta 16000 g/Nm <sup>3</sup> Tamaño partícula: hasta PM <sub>2.5</sub> Temperatura según material recipiente, puede ser >1200 °C.	Caudal: muy alto, según variante hasta 1800000 Nm <sup>3</sup> /h Contenido polvo: 1-10 g/Nm <sup>3</sup> (tubo-alambre) 2-110 g/Nm <sup>3</sup> (tubo-placa) Tamaño partícula: >PM <sub>1.0</sub> Temperatura: hasta 700 °C (seco) <90 °C (húmedo) Resistividad: 5x10 <sup>3</sup> -2x10 <sup>10</sup> ohm cm No aplicable a Hg	Caudal: según variante hasta 170000 Nm <sup>3</sup> /h Contenido polvo: Ver Tabla 3.16 Alta carga de polvo con lavador de placas, torre de rociado, lavador de impacto-arrastre, lavador venturi. Temperatura: Ver tabla 3.16.
<b>Consumibles</b>	Energía: sólo para el ventilador Caída de presión: <0,5 kPa	Energía: 0,25-1,5 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 0,5-2,5 kPa	Agua en PE húmedo Energía: 0,5-2 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 0,05-0,5 kPa	Agua de lavado: 0,5-5 l/Nm <sup>3</sup> Energía: 1-6 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 3-20 kPa (venturi)
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Desecho de polvo.	Desecho de polvo. Emisión de ruido.	Desecho de polvo o agua residual (PE húmedo)	Suspensión que requiere tratamiento de separación ulterior. Emisión de ruido.
<b>Requisitos de espacio</b>	Bajos			
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	10-90 (según tamaño de partícula y concentración de alimentación).	PM 80-99 PM <sub>10</sub> 60-95 PM <sub>5</sub> 80-95 PM <sub>2.5</sub> 20-70	PM 99-99,2 PM <sub>10</sub> 97,1-99,4 PM <sub>2.5</sub> 96-99,2 (PE seco y húmedo)	PM 50-99 según variante. VOC 50-95 según variante. SO <sub>2</sub> 80-99 (Ver Tabla 3.17)
<b>Emisiones alcanzables [mg/Nm<sup>3</sup>]</b>			Polvo: 5-15	
<b>Adaptabilidad</b>	Normalmente integrado.			

<sup>a</sup> detalles en el capítulo correspondiente

Tabla 4.9. Continuación

	Filtro de mangas	Filtro de polvo 2 etapas	Filtro HEPA	HEAF	Filtro de neblina
<b>Finalidad</b>	Técnica de filtrado, la torta de filtrado mejora su eficacia.	Técnica de filtrado, material tela o malla metálica.	Técnica de filtrado, material papel o estera de fibra de vidrio de alta densidad.	Técnica de filtrado, filtro de lecho plano.	Técnica de filtrado, filtros de almohadilla de malla o monofilamento sintético.
<b>Aplicación</b>	Eliminación de PM <PM <sub>2,5</sub> como tratamiento final. Recoge PM inadecuado para PE. Con sistemas de inyección (gas de combustión). Adecuado para gas de combustión. Recuperación posible en principio.	Eliminación de partículas como tratamiento final. Con sistemas de inyección (gas de combustión). Adecuado para gas de combustión. Recuperación posible en principio.	Eliminación de partículas sub-micra entre PM <sub>0,12</sub> y PM <sub>0,3</sub> Después de PE o filtro de mangas como tratamiento final cuando se requiere alta eficacia de recogida. Recuperación posible en principio.	Eliminación de aerosoles como aceite, plastificantes, COV condensables. Corriente abajo se requiere filtro de neblina y separador de gotas.	Eliminación de aerosoles y gotas. Protección de equipos corriente abajo para evitar desgaste y fricción. Dispositivo de recogida primario para dejar partículas más pequeñas a otras técnicas de tratamiento. Después de lavador húmedo.
<b>Límites de aplicación</b>	Partículas grandes a recoger corriente arriba. Caudal: hasta 1800000 Nm <sup>3</sup> /h. Temperatura según tejido (Ver Tabla 3.18), por encima del punto de rocío. Contenido de polvo hasta 230 g/Nm <sup>3</sup> A evitar polvo pegajoso.	Caudal: hasta 75000 Nm <sup>3</sup> /h por módulo. Temperatura: hasta 400 °C Contenido de polvo: sin restricciones.	Caudal: hasta 3600 Nm <sup>3</sup> /h por módulo. Temperatura: <200°C <530 °C (cerámico) por encima del punto de rocío. Contenido de polvo: 1-30 g/Nm <sup>3</sup> Evitar entorno húmedo.	Caudal hasta 25000 Nm <sup>3</sup> /h	Caudal hasta 150000 Nm <sup>3</sup> /h Temperatura <170°C Contenido polvo <1 mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Consumibles</b>	Aire comprimido Energía: 0.2-2 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 0,5-2,5 kPa 5-50 kPa (cerámico)	Aire comprimido Energía: 1,5 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 0,5-2,5 kPa	Energía: <0.1 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 0.05-0.25 kPa	Energía: <0,1 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 8 kPa	Energía Caída de presión: 2,5-9,0 kPa
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Desecho de polvo	Desecho de polvo	Desecho de módulos de filtración cargados.	Desecho de rollos de filtro cargados.	Desecho de líquido de lavado y material de filtro cargado.
<b>Requisitos de espacio</b>					
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	Polvo 99-99.9		PM <sub>0,01</sub> >99,99 PM <sub>0,1</sub> casi total	gotas 99 aerosoles 99	polvo 99 aerosoles 99
<b>Emisiones alcanzables [mg/Nm<sup>3</sup>]</b>	Polvo 2-10 1 (filtro cerámico)	Polvo 1 (independiente de la alimentación)	PM 0,0001		

**Tabla 4.10.**  
**Técnicas de tratamiento asociadas con COV para tratamiento de COV y compuestos inorgánicos para corrientes de gases residuales normales**

	<b>Lavado húmedo (ver Sección 3.5.1.4)</b>	<b>Adsorción</b>	<b>Condensación</b>	<b>Separación por membrana</b>
<b>Finalidad</b>	Transferencia de materia de la fase gaseosa a la fase líquida.	Transferencia de materia de la fase gaseosa a superficie sólida.	Licuefacción por enfriamiento.	Permeación a través de la superficie de una membrana.
<b>Aplicación</b>	Control de COV, compuestos inorgánicos y también polvo, según variante y líquido de lavado (agua, solución ácida y alcalina), 1 o 2 etapas. Aplicación ver Sección 3.5.1.4 En principio, recuperación posible por desorción.	Eliminación de COV, sustancias olorosas, dioxinas, etc. Filtro de protección después de tratamiento final. Distintas variantes, ver Sección 0. En principio, recuperación posible tras regeneración.	Recuperación de COV de corrientes de gases residuales concentradas. Pretratamiento antes de adsorción, lavado, sistemas de eliminación. Postratamiento de corrientes de gas enriquecidas de membranas o desorción de aguas residuales.	Recuperación de COV de vapores de combustible. Enriquecimiento de corrientes de gas con COV para que puedan tratarse por condensación o incinerarse.
<b>Límites de aplicación</b>	Caudales ver Sección 3.5.1.4 Temperaturas mejor por debajo de 40 °C para lavado de gases con agua sin reacción química. Carga de polvo: según variante, ver Sección 3.5.1.4	Caudal: hasta 100000 Nm <sup>3</sup> /h Temperatura: <80 °C (GAC) < 250 °C (zeolitas) Contenido COV: <25 % LEI Carga de polvo: baja.	Caudal: hasta 100000 Nm <sup>3</sup> /h <5000 Nm <sup>3</sup> /h (para versión criogénica) Temperatura: <80 °C Limitaciones por congelación y bloqueo subsiguiente. Carga de polvo: baja (<50 mg/Nm <sup>3</sup> ).	Caudal: depende de la superficie de la membrana. Temperatura y presión según el material de la membrana. Carga de polvo: muy baja. Carga de COV: sin límite.
<b>Consumibles</b>	Agua de lavado, agua de refrigeración. Agentes químicos (ácido, sosa cáustica, oxidante). Energía 0,2-1 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Vapor para desorción. Caída de presión: 0,4-0,8 kPa	Vapor o nitrógeno (desorción). Agua de refrigeración (condensación). Energía 35-260 kWh/tonelada disolvente. Caída de presión: 2-5 kPa	Medio refrigerante (aire, agua, salmuera, salmuera-amoniaco, nitrógeno líquido). Energía: 70 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> (criogénica) Caída de presión: 0.1-0.2 kPa	Energía: 250 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 0.1-1 MPa
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Agua residual a tratar. Energía y emisión de regeneración.	Agua residual de regeneración. Desecho de adsorbente.	Tratamiento ulterior normalmente requerido después de condensación.	Tratamiento ulterior del permeado.
<b>Requisitos de espacio</b>				
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	COV 50-99 Compuestos inorgánicos 90-99 SO <sub>2</sub> 80-99	COV 80-95 Olor 80-95 H <sub>2</sub> S 80-95		COV hasta 99,9
<b>Emisiones alcanzables [mg/Nm<sup>3</sup>]</b>	HF <1 HCl <10 (<50 con agua) SO <sub>2</sub> <40	Hg <0,05 Dioxinas <0,1 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ	ver Sección 3.5.1.2	
<b>Adaptabilidad</b>	Relativamente fácil.	Relativamente fácil.	ver Sección 3.5.1.2	

Tabla 4.10. Continuación

	<b>Tratamiento biológico (filtración / lavado / goteo)</b>	<b>Oxidación térmica</b>	<b>Oxidación catalítica</b>	<b>Motor a gas / caldera de vapor</b>
<b>Finalidad</b>	Degradación biológica por microorganismos.	Oxidación con oxígeno (aire) calentando una corriente de gas por encima de su punto de inflamación espontánea.	Oxidación con oxígeno (aire), usando un catalizador para rebajar el punto de inflamación espontánea.	Incineración de gas residual para recuperar energía.
<b>Aplicación</b>	Eliminación de bajas concentraciones de contaminantes solubles en agua: NH <sub>3</sub> , aminas, hidrocarburos, H <sub>2</sub> S, tolueno, estireno, olor.	Emisiones de todas las fuentes de COV, más adecuada para concentraciones autotérmicas de COV y tratamiento final de sustancias peligrosas.	Misma aplicación que incineración térmica, contaminantes restringidos a no venenosos. Con o sin recuperación de calor.	Corrientes de gas residual adecuadas para motores a gas, generador corriente abajo para producir electricidad (ver Sección 3.5.2.4).
<b>Límites de aplicación</b>	Ver Secciones 3.5.2.1 a la 3.5.2.3 No adecuado para cambiar el contenido. El NH <sub>3</sub> puede causar problemas. Las heladas, lluvias y altas temperaturas afectan al material del filtro.	Caudal: hasta unos 86000 Nm <sup>3</sup> /h Rango de temperatura: 800-1000°C 980-1200 °C (sustancias peligrosas) COV: <25 % LEI	Caudal: hasta unos 86000 Nm <sup>3</sup> /h Rango de temperatura: 300-500 °C COV: <25 % LEI	Temperatura de combustión relativamente baja. Limitaciones de composición del gas residual cuando se incluyen compuestos corrosivos o precursores.
<b>Consumibles</b>	Agua (agua de lavado y de goteo). Agentes químicos (nutrientes, ajuste de pH). Energía: <1 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 0.2-2 kPa	Combustible durante arranque y condiciones no autotérmicas. Energía: 3-8 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 1-5 kPa	Combustible durante arranque y condiciones no autotérmicas. Energía: 1-2 kWh/1000 Nm <sup>3</sup> Caída de presión: 1-5 kPa	Combinado con caldera de vapor para producir vapor.
<b>Efectos sobre otros medios</b>	Desecho de material de filtro. Agua residual de lavado y goteo biológico. Emisión de olor de lavado y goteo biológico.	CO y NO <sub>x</sub> en gas de combustión. El contenido de Cl y S requiere tratamiento del gas de combustión. Las dioxinas no suelen ser un problema con condiciones optimizadas (ver 3.5.2.4).	Nivel de NO <sub>x</sub> muy bajo en el gas de combustión (unos 15 mg/Nm <sup>3</sup> ). El contenido de Cl y S requiere tratamiento del gas de combustión. Las dioxinas no suelen ser un problema.	Baja temperatura de combustión con bajo nivel de NO <sub>x</sub> . El CO en el gas de combustión es reducido por el catalizador.
<b>Eficacia alcanzable [% eliminación de contaminantes]</b>	COV 75-99 C. inorgánicos 80-95 (todos) Olor 70-95 Detalles a Ver Secciones 3.5.2.1 a la 3.5.2.3.	COV 95-99	VOC 90-99 CO >98 Olor 80-95	
<b>Niveles de emisión alcanzables [mg/Nm<sup>3</sup>]</b>		COT 1-4		

MTD para tratamiento de gases de escape de combustión

La MTD para la eliminación de polvo es aplicar:

- Precipitador electrostático o filtro de mangas (después de intercambiador de calor a 120-150 °C)
- Filtro catalítico (condiciones comparables al filtro de manga)
- Lavado húmedo.

La MTD para la eliminación de HCl, HF y SO<sub>2</sub> es:

- Recuperarlos utilizando lavado húmedo en dos etapas, utilizando en la primera etapa una solución acuosa o ácida como medio de lavado en modo de reciclaje para eliminar HF y HCl, utilizando en la segunda etapa suspensión de carbonato cálcico para eliminar SO<sub>2</sub> como sulfato cálcico (después de inyección de aire). Tanto el HCl como el sulfato cálcico pueden recuperarse como ácido clorhídrico crudo enriquecido y yeso respectivamente. También se utiliza lavado húmedo en dos etapas sin recuperación de material para separar los iones cloruro y fluoruro antes de la desulfurización, o
- Eliminarlos mediante inyección de absorbente seca, semiseca o húmeda, según se describe en la Sección 3.5.4.1, eliminando el polvo generado junto con el polvo de incineración. No obstante, el lavado húmedo es normalmente la técnica más eficaz tanto para eliminación como para recuperación.

Hay más técnicas de tratamiento de gases de combustión, utilizadas principalmente en centrales de energía, que entran en el ámbito del BREF sobre grandes plantas de combustión.

La MTD para la eliminación de NO<sub>x</sub> es:

- Aplicar RCS en lugar de RNCS (al menos para instalaciones grandes), ya que tiene una mejor eficacia de eliminación y comportamiento ambiental (ver Sección 3.5.4.2). Para instalaciones existentes que utilizan dispositivos de RNCS, el momento para considerar su cambio puede ser cuando haya previstas modificaciones importantes en la planta de incineración. Aunque la RCS es MTD en sentido general, hay casos individuales (normalmente instalaciones más pequeñas) en las que la RNCS es la mejor solución desde el punto de vista técnico y económico. Otras medidas deberán ser evaluadas por su capacidad de proporcionar una mejora global mayor que la modernización a RNCS.

Hay más procesos DeNO<sub>x</sub> que se utilizan, como diversas técnicas de eliminación simultánea de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que también son MTD cuando consiguen una eficacia similar.

Cuando sean de esperar dioxinas, es MTD:

- Eliminar las dioxinas usando un filtro de GAC (adsorción) al final del tratamiento del gas de combustión.

Otras técnicas que consiguen resultados comparables (ver Tabla 4.8) también se consideran MTD.

Los niveles de emisión asociados con las MTD y la eficacia de reducción del tratamiento de gases de escape de combustión se detallan en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.11.**  
**Niveles de emisión e índices de eficacia asociados con las MTD del tratamiento de gases de escape de combustión en el sector químico**

Parámetro	Niveles de emisión [mg/Nm <sup>3</sup> ] <sup>1</sup>
polvo	<5-15
HCl	<10
HF	<1
SO <sub>2</sub>	<40-150 <sup>2</sup>
NO <sub>x</sub> (calderas / calentadores a gas)	20-150 <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub> (calderas / calentadores líquidas)	55-300 <sup>3</sup>
NH <sub>3</sub> <sup>4</sup>	<5 <sup>5</sup>
dioxinas	0,1 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ

<sup>1</sup> Media semihoraria, referido a un contenido de oxígeno del 3 %

<sup>2</sup> Rango inferior para combustible gaseoso, rango superior para combustible líquido

<sup>3</sup> Valor superior para instalaciones pequeñas que utilizan RNCS

<sup>4</sup> Desprendimiento de NH<sub>3</sub> con RCS

<sup>5</sup> Valor con catalizadores nuevos, las emisiones de NH<sub>3</sub> aumentan a medida que el catalizador envejece.

## Capítulo 5.

# Técnicas emergentes

Una técnica emergente, según se entiende en este documento, es una técnica que no ha sido todavía aplicada a nivel comercial o fuera de la operación de planta piloto, pero de la que cabe esperar que sea aplicable en el futuro en operaciones a gran escala en el sector químico.

Las técnicas que se muestran a continuación ya funcionan en un cierto grado en condiciones específicas en otros sectores. No hay evidencia aún de que hayan sido puestas en práctica con éxito en el sector químico en condiciones de trabajo reales, pero se espera que así sea en el futuro.

### **Eliminación biológica de dióxido de azufre de gases de escape**

El sistema de eliminación biológica de dióxido de azufre es una combinación de un lavador de gases residuales (absorbedor) y una instalación de tratamiento biológico de aguas residuales. En el absorbedor, la corriente de gas residual que contiene el dióxido de azufre entra en contacto con el agua de lavado. Se forma una mezcla de sulfito y sulfato. En un proceso biológico anaerobio subsiguiente, esta mezcla es convertida biológicamente a sulfuro. El paso aerobio posterior convierte el sulfuro en azufre elemental, que es separado, y el agua sobrenadante es reciclada al lavador.

A causa de la presencia de iones sulfuro, los metales pesados precipitan como sulfuros y pueden ser eliminados también.

### **Oxidación de NO<sub>x</sub> a baja temperatura**

La oxidación de NO<sub>x</sub> a baja temperatura es una combinación de un proceso de oxidación (ozono como agente oxidante) y lavado de gas (con agua o álcali como líquido de lavado). El ozono (generado in situ en un sistema de alto voltaje) reacciona con NO y NO<sub>2</sub> en un conducto de reacción para obtener N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> muy soluble, que es eliminado posteriormente en un lavador de gas húmedo por la formación de ácido nítrico. Cabe esperar niveles de emisión muy bajos de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y HCl (5, 5-10 y 5-10 ppm respectivamente).

Los principales aspectos medioambientales son el consumo de energía de la generación de ozono y, cuando se requiere, de la generación y/o almacenaje de oxígeno seco puro, y la necesidad de una cantidad esencial de agua como líquido de lavado.



# Capítulo 6.

## Conclusiones finales

Este capítulo cubre:

- El calendario del trabajo.
- Las fuentes y disponibilidad de información.
- El grado de consenso dentro del Grupo de trabajo (WG).
- Recomendaciones para trabajos futuros.

### Calendario del trabajo

El trabajo de este BREF duró casi 3 años, y sus pasos principales fueron:

- 12-14 de abril de 1999. Primera reunión del Grupo de Trabajo Técnico (WG) en Sevilla.
- Mayo de 2000: Se envió un primer borrador a los miembros del WG para consulta, que cubría los Capítulos 1 – 3. Incluía:
  - o Información básica general sobre aguas y gases residuales.
  - o Información sobre gestión de gases y aguas residuales.
  - o Información sobre tecnología de tratamiento común, incluidos datos de eficacia de tratamiento.Los miembros del WG aportaron información adicional durante la consulta.
- Marzo de 2000: Se envió un segundo borrador a los miembros del WG, que cubría los Capítulos 1-5 más Anexos. Debido a la información recibida como comentarios de la consulta del WG al primer borrador y fuentes de información adicionales, los capítulos sobre información general y gestión fueron reestructurados por completo y se agregaron datos adicionales al capítulo sobre tecnología de tratamiento. Se incluyó un capítulo de conclusiones sobre MTD en base a la información recibida en los tres capítulos precedentes.
- 27-29 de junio de 2001: Segunda reunión del WG en Sevilla. Se discutieron en detalle una serie de aspectos, principalmente los relativos al Capítulo 4, conclusiones sobre MTD. Se registraron cuatro discrepancias, en parte porque un Estado Miembro tenía la impresión de que las conclusiones sobre MTD sobre gestión eran demasiado generales y que debían ser apoyadas por cifras, y en parte porque deseaba que los niveles de emisión asociados con MTD para metales pesados y AOX en el punto de descarga final de aguas residuales estuvieran basados en la información que habían aportado.
- Agosto de 2001: Se envió un extracto del documento reestructurado a consecuencia de la segunda reunión del WG a los miembros del WG para consultas finales.
- 15-16 de noviembre de 2001: Se presentó el documento del borrador final a la DG de Medio Ambiente en la 10ª Reunión del Foro de Intercambio de Información (IEF) sobre MTD en Bruselas. El IEF estimó que el documento reflejaba de forma precisa el intercambio de información en el WG y que estaba en línea con el Esquema y Guía del BREF. El documento fue aceptado por la DG de Medio Ambiente con algunos cambios editoriales.

### Fuentes de información y disponibilidad de información

En la redacción del BREF se utilizaron diversas fuentes. Las fuentes principales fueron libros de texto, la Enciclopedia ULLMANN de Química Industrial y publicaciones sobre técnicas especiales. Se tomó información adicional del sitio web de la Agencia de Protección del Medio Ambiente estadounidense (EPA), que proporcionó hojas de especificaciones sobre técnicas de tratamiento de gases residuales, incluida información sobre costes, y el Programa de Mejores Prácticas de Tecnología Ambiental, que proporcionó información sobre distintas técnicas de control de aguas y gases residuales.

Los distintos Estados Miembros, organizaciones industriales europeas (CEFIC y CONCAWE) y una empresa química suministraron documentos sobre MTD, notas de guía, material de referencia técnica y datos reales de operación sobre distintos aspectos, que se detallan en la lista de Referencias de este documento.

Algunos fabricantes facilitaron información sobre sus tecnologías. La mayor parte de los documentos se aportaron en etapas muy tardías del trabajo. El primer y segundo documento sobre el sector químico llegaron en noviembre / diciembre de 1999, otros entre la publicación del primer borrador y un plazo de una semana antes de la segunda reunión.

### Grado de consenso

Este BREF ha obtenido el apoyo de la mayoría de los miembros WG, aunque en cuatro conclusiones sobre MTD se registraron discrepancias. Un Estado Miembro expresó su opinión sobre la carencia de definiciones estrictas para las conclusiones sobre MTD sobre gestión ambiental y de niveles de emisión asociados con MTD para metales pesados y AOX en el punto de descarga final. Más información en el Capítulo 4.

### Recomendaciones para trabajos futuros

El inconveniente principal en el intercambio de información fue la carencia de información sobre datos de comportamiento útiles en combinación con datos operativos (como consumo y uso de energía, uso de sustancias auxiliares, efectos sobre otros medios). Cuando, por citar un ejemplo, el grupo experto concluyó que no existen niveles de emisión para técnicas de control de metales pesados que cubran la totalidad del sector químico, ya que dichos niveles dependen fuertemente del proceso de origen, no se aportaron datos que pudieran apoyar su punto de vista. Por ello, el BREF no puede presentar niveles de emisión alcanzables –o niveles de emisión asociados con MTD– para técnicas de control de metales pesados.

Hay una carencia notable de información sobre datos de costes. Dado que la industria química (excepto CONCAWE) no facilitó datos, el BREF recurrió a las fuentes existentes, principalmente las hojas de datos de la EPA de EE.UU., el artículo holandés sobre MTD para el tratamiento de gases residuales y la base de datos VITO sobre técnicas de aguas residuales, dejando todavía grandes lagunas. Así, todavía no se han facilitado datos de costes suficientemente cualificados, fiables y comparables. En general no se conocía exactamente qué se incluía en los datos de costes de las fuentes citadas y cómo se realizó el cálculo. Los datos de costes relativos (por m<sup>3</sup> de agua residual, por 1000 Nm<sup>3</sup> de gas residual o por unidad de masa de contaminante) presentado en este BREF, por lo tanto, deben considerarse como indicadores de magnitud y no como cifras exactas. Los relativamente pocos datos de costes del BREF se facilitan tal como fueron recibidos, es decir, las monedas nacionales no son convertidas a Euros. Se sugiere dejar la toma de decisión sobre un sistema de conversión para datos de costes al BREF sobre economía y efectos sobre otros medios. Cubrir y subsanar esta laguna será una tarea para trabajos futuros.

La recomendación evidente para trabajos futuros es por lo tanto cubrir todas las lagunas que todavía existen en el presente BREF. Entre los aspectos que merecerían una consideración más amplia cuando se revise este documento se incluyen:

- Centrarse en el comportamiento técnico, no sólo en índices de eficacia y niveles de emisión, prestando mayor atención a los aspectos de efectos sobre otros medios y energía y aportando los datos necesarios.
- Ejemplos de sistemas de tratamiento de aplicación real en el contexto de la operación conjunta de las diversas técnicas en complejos químicos, aportando los datos necesarios y la lógica para la toma de decisión por parte de la empresa, no sólo una lista de las plantas de tratamiento existentes o afirmaciones que utilicen cifras “buenas” como ejemplos para decisiones sobre gestión sin una explicación o raciocinio adecuado y comprensible.
- Hay que aportar ejemplos selectos de buenas prácticas de ingeniería como demostración del significado de términos como “buena práctica de fabricación”, “seguridad apropiada” o “evacuación de riesgos”.
- Centrarse en el objetivo principal del proceso de los BREF, es decir, apoyar y guiar a los reguladores a la hora de tomar una decisión sobre un permiso, no sólo proporcionándole una lista de técnicas (“lista de la compra”) o intentando guiarle hacia una decisión. Puede ser útil tener en consideración los tres puntos precedentes.
- Un enfoque más consistente para la medición del nitrógeno total facilitaría las comparaciones y conclusiones al respecto. En este trabajo se disponía principalmente de datos de nitrógeno orgánico total, que no es un parámetro universalmente aceptado.

La CE lanza y apoya, a través de sus programas de I+D (RTD), una serie de proyectos que tratan con tecnologías limpias, tecnologías y estrategias de gestión emergentes para el tratamiento y reciclaje de efluentes. Potencialmente estos proyectos podrían proporcionar una contribución útil a futuras revisiones del BREF.

Se invita por lo tanto a los lectores a informar al EIPPCB de cualquier resultado de investigación que sea relevante al ámbito de este documento (ver también el prefacio de este documento).

Por lo que respecta a la revisión del BREF, la recomendación es esperar hasta que estén terminados todos los BREF verticales del sector químico. Esto asegurará que toda la información necesaria para el BREF horizontal haya sido recogida antes de que comience el proceso de revisión. Sin embargo, esto no significa que sería suficiente realizar las mismas aportaciones al BREF sobre Tratamiento Común de Aguas y Gases Residuales que a los BREF verticales y repetir simplemente los resultados, ya que eso supondría poner en serias dudas la necesidad de un BREF horizontal sobre aguas y gases residuales.



# Referencias Bibliográficas

[cww/tm/4]

Metcalf & Eddy, Inc.,

**Waste Water Engineering – Treatment, Disposal, and Reuse,**  
3<sup>rd</sup> edition, revised by Tchobanoglous, Burton,  
McGraw-Hill, New York, 1991

[cww/tm/26]

**Betz Handbook of Industrial Water Conditioning**

9<sup>th</sup> edition, Betz Laboratories, Inc., Trevese, 1991

[cww/tm/27]

Environment Agency (UK), HMSO, 1997

Technical Guidance Note A4,

**Effluent Treatment Techniques**

[cww/tm/46]

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien 1994

Braun et al.

**Biologische Abluftreinigung in Österreich**

**Stand und Zukunft biologischer Verfahren in der Abluftreinigung**

[cww/tm/48]

CONCAWE, May 1999

Document No. 99/01,

**Best Available Techniques to reduce Emissions from Refineries**

[cww/tm/50]

Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt/M. 1995

**Umweltbereich Luft**

Textheft 22

[cww/tm/51]

RIZA (NL), 1990

**Inventory of Treatment Techniques for Industrial Waste Water**

[cww/tm/53]

VDI, Düsseldorf 1996

VDI 3478

**Biological Waste Gas Purification**

**Bioscrubbers and Trickle Bed Reactors**

[cww/tm/64]

BASF, July 1999

**Verfahrenstechniken der Abgas-/Abluftbehandlung**

[cww/tm/67]

VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemie-ingenieurwesen, 1999

**4. GVC-Abwasser-Kongress 1999, Preprints**

[a] Rosenwinkel et al., Membranverfahren in der industriellen Abwasserbehandlung, p 183 et seq

[b] Neumann et al., Einsatz der BAYER-Hochleistungs-Flotationstechnik als zusätzliche Verfahrensstufe der Klärtechnik, p 327 et seq

[c] John et al., Weiterentwicklung vertikal durchströmter Nachklärbecken, p 483 et seq

[d] Biener et al., Systematische Reduktion des Wasserverbrauchs und des Abwasseranfalls, p 71 et seq

[cww/tm/70]

Tauw, Feb 2000

InfoMil,  
**Dutch Notes on Waste Gas Treatment**

[cww/tm/71]  
ENTEK UK Ltd., 1996  
Environmental Technology Best Practice Programme, Guide GG12,  
**Solvent Capture for Recovery and Re-use from Solvent-laden Gas Streams**

[cww/tm/72]  
CEFIC, Dec 1999  
IPPC BAT Reference Document. Waste Water/Waste Gas Treatment. Chemical Industry Contribution Paper on Waste Water/Waste Gas Management

[cww/tm/74]  
Environmental Processes '98, Hydrocarbon Processing 71-118,  
Aug 1998

[cww/tm/75]  
Paques Bio Systems B.V., Apr 1997,  
Jansen, Buisman,  
**Biological SO<sub>2</sub> Removal from Flue Gas**

[cww/tm/76]  
European Lime Association, 1999  
Lime and Dolomite Products for the Treatment of Drinking Water, Waste Water and Sewage Sludge

[cww/tm/77]  
Naval Facilities Engineering Service Center (USA), June 1998  
Joint Service Pollution Prevention Technical Library,  
<http://enviro.nfesc.navy.mil/p2library>

[cww/tm/78]  
Verfahrenstechnik, Mar 1999  
Kaiser, Lehner,  
**Dampf- und Luftstrippung zur Rückgewinnung von Ammoniak aus Abwasser**

[cww/tm/79]  
Environment Agency (UK), Apr 1994  
Technical Guidance Note A3,  
**Pollution Abatement Technology for Particulate and Trace Gas Removal**

[cww/tm/80]  
Environment Agency (UK), Febr 1994  
Technical Guidance Note A2,  
**Pollution Abatement Technology for the Reduction of Solvent Vapour Emissions**

[cww/tm/81]  
P. Kunz,  
**Behandlung von Abwasser,**  
Vogel Verlag, Würzburg, 2<sup>nd</sup> Edition 1990

[cww/tm/82]  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit / LAWA, Germany 2000  
**Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 22 der Abwasserverordnung**

[cww/tm/83]  
European Water Pollution Control, Vol 7, 1, 1997  
Meyer, Hanke,  
Reduction of Nitrogen and Phosphorous Discharges from Bayer's Dormagen Production Site

[cww/tm/84]  
InfoMil, Feb 2000

**Dutch Notes on BAT for the Large Volume Organic Chemicals Industry**

[cww/tm/85]

W.L. GORE & Ass., 1999

Plinke et al.,

**Catalytic Filtration – Dioxin Destruction in a Filter Bag,**

unpublished

[cww/tm/86]

Linnhoff et al., Aug 1998

**Intelligent Networking of Process Waste Water Streams in the Chemical Industry**

<http://www.linnhoffmarch.com/Resources/Pinch.html>

[cww/tm/87]

DVWK Regeln 134/1997,

Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS) Abwasseranlagen als Auffangvorrichtungen

[cww/tm/88]

Council Directive 1999/13/EC,

11.3.1999

[cww/tm/89]

US-EPA, 1995

**AP-42 Emission Estimating Handbook, section 7.1 Storage of Organic Liquids**

<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42.html>

[cww/tm/90]

US-EPA OAQPS, Dec 1999

**TANKS 4.06 for Windows**

<http://www.epa.gov/ttnchie1/tanks.html>

[cww/tm/91]

Nalco Chemical Company,

**The NALCO Water Handbook,**

2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill, New York, 1988

[cww/tm/92]

ENTECH UK Ltd., 1996

Environmental Technology Best Practice Programme, Guide GG37,

**Cost-effective Separation Technologies for Minimising Wastes and Effluents**

[cww/tm/93]

ENTECH UK Ltd., 1997

Environmental Technology Best Practice Programme, Guide GG54,

**Cost-effective Membrane Technologies for Minimising Wastes and Effluents**

[cww/tm/94]

Environment Agency (UK), Nov 1993

Technical Guidance Note A1,

Guidance on Effective Flaring in the Gas, Petroleum, Petrochemical and Associated Industries

[cww/tm/95]

Environmental Protection Agency (Ireland), May 1996

**Integrated Pollution Control Licensing**

**BATNEEC Guidance Note for the Chemical Sector**

[cww/tm/96]

North Ostrobothnia Regional Environment Centre, June 2000

**Examples of Waste Water and Waste Gas Treatment in the Chemical Industry in Finland**

[cww/tm/97]

DHV Water BV, Febr 1996

Giesen, van der Molen,

**The Crystalactor®: Waste Water Treatment by Crystallisation without Waste Production**

[cww/tm/100]

Biothane Systems International, 2000

**Biological Waste Water Treatment: KoSa Netherlands BV**

[cww/tm/101]

Paques BV, Netherlands, Oct 1991

**Buisman, Biological Zinc and Sulphate Removal from Waste Water**

[cww/tm/102]

1996 EPD Proceedings, 1996

de Vegt, Buisman

**Sulphur Compounds and Heavy Metal Removal Using Bioprocess Technology**

[cww/tm/105]

BAYER AG, April 2000

**Waste Water Treatment Plants of BAYER**

[cww/tm/106]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**High Efficiency Particle Air (HEPA) Filter, Ultra Low Penetration Air (ULPA) Filter**

[cww/tm/107]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA Dec 1999

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Cyclones**

[cww/tm/108]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA Dec 1999

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Settling Chambers**

[cww/tm/110]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA July 1999

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Fibre Bed Scrubber**

[cww/tm/111]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Impingement-Plate / Tray-Tower Scrubber**

[cww/tm/112]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA July 1999

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Orifice Scrubber**

[cww/tm/113]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Packed-Bed / Packed-Tower Wet Scrubber**

[cww/tm/114]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Spray-Chamber / Spray-Tower Wet Scrubber**

[cww/tm/115]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA July 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Venturi Scrubber**

[cww/tm/116]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Catalytic Incinerator**

[cww/tm/117]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Flare**

[cww/tm/118]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Incinerator – Recuperative Type**

[cww/tm/119]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Regenerative Incinerator**

[cww/tm/120]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Thermal Incinerator**

[cww/tm/121]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Fabric Filter – Mechanical Shaker Cleaned Type, Mechanical Shaker Cleaned Type with Sonic  
 Horn Enhancement**

[cww/tm/122]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Fabric Filter – Pulse-Jet Cleaned Type**

[cww/tm/123]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Fabric Filter – Reverse-Air Cleaned Type, Reverse-Air Cleaned Type with Sonic Horn En-  
 hancement, Reverse-Jet Cleaned Type**

[cww/tm/124]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Dry Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Pipe Type**

[cww/tm/125]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet  
 Dry Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Plate Type**

[cww/tm/126]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999  
**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Wet Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Pipe Type**

[cww/tm/127]

EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999

**Air Pollution Technology Fact Sheet**

**Wet Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Plate Type**

[cww/tm/128]

VITO (Belgium), Aug 2000

**SLSS Techniekbladen**

[cww/tm/129]

BetzDearborn, Jan 1993

Hartung,

**Applying Quality Methods to Waste Water Treatment**

TAPPI Journal, 1993

[cww/tm/130]

UBA (Berlin), Mai 2000

Draft OSPAR Background Document Concerning the Elaboration of Programmes and Measures Relating to Whole Effluent Assessment

[cww/tm/131]

Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, the Netherlands, Sept 1999

**Dutch Notes on BAT for Mineral Oil Refineries**

[cww/tm/132]

**Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**

6<sup>th</sup> edition, Electronic Release

Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany 2000

[cww/tm/133]

UBA (Wien)

**Formaldehyde**

[cww/tm/135]

US-EPA, Clean Air Technology Center, May 1999

**Choosing an Adsorption System for VOC: Carbon, Zeolite or Polymers**

[cww/tm/137]

US-EPA, Clean Air Technology Center, Nov. 1999

**Technical Bulletin: Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>), Why and How they are Controlled**

[cww/tm/138]

US-EPA, Control Technology Center, April 1995

**Control and Pollution Prevention Options for Ammonia Emissions**

[cww/tm/143]

US-EPA

AP-42, 5<sup>th</sup> edition, Volume I, 1995

**Capítulo 13.5 Industrial Flares**

[cww/tm/146]

Sackewitz, Umwelt 29 (1999) Nr. 4, pp 16 - 18

**Luftstrippverfahren zur Teilstrombehandlung**

**Betriebserfahrungen auf den Kläranlagen Göttingen und Cuxhaven**

[cww/tm/147]

SEPA (Scotland), Environment Agency (England, Wales)

Pollution Prevention Guidelines 18

**Managing Fire Water and Major Spillages**

[cww/tm/148]  
 SEPA (Scotland), Environment Agency (England, Wales)  
 Pollution Prevention Guidelines 21  
**Pollution Incident Response Planning**

[cww/tm/149]  
 UBA (WIEN), 2000  
 Ecker, Winter  
**Stand der Technik bei Raffinerien im Hinblick auf die IPPC Richtlinie**  
 Monographien Band 119

[cww/tm/150]  
 US-EPA, ICAC,  
 Control Technology Information  
**Brief Descriptions of Air Pollution Control Technologies**  
<http://www.epa.gov/earth1r6/6pd/air/pd-1/noxcont.htm>

[cww/tm/151]  
 UmweltMagazin, Mai 2000, pp 48  
 Karl,  
**Neue Festbettbiologie reinigt schwierige Abwässer**

[cww/tm/152]  
 US-EPA  
**Protocol for Equipment Leak Emission Estimates**  
<http://www.epa.gov/ncepihom/Catalog/EPA453R95017.html>

[cww/tm/153]  
 World Oil Magazine August 2000, Vol. 221, No. 8  
**Successful Field Trials Lead to Enclosed Burner Aplicación**  
[http://www.worldoil.com/magazine/MAGAZINE\\_DETAIL.asp?ART\\_ID=1255&MONTH\\_YEAR=Aug-00](http://www.worldoil.com/magazine/MAGAZINE_DETAIL.asp?ART_ID=1255&MONTH_YEAR=Aug-00)

[cww/tm/154]  
 IMPEL Network, December 2000  
**Diffuse VOC Emissions**  
<http://europa.eu.int/comm/environment/impel/vocemissions.htm>

[cww/tm/155]  
 The European Parliament and the Council, 4<sup>th</sup> December 2000  
**Directive 2000/76/EC on the Incineration of Waste**

[cww/tm/156]  
 Infomil, December 1999  
**Dutch Notes on BAT for the Production of Nitric Acid**

[cww/tm/157]  
 Infomil/ADEME, March 2001  
**NOXCONF 2001**  
**International Conference: Industrial Atmospheric Pollution**  
**NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O emission control: panel of available techniques**  
 Paris la Défense, 21<sup>st</sup> and 22<sup>nd</sup> March 2001  
 [a] Gry, Session 8, Chemical Industry  
**Program to reduce NO<sub>x</sub> emissions of HNO<sub>3</sub> plants with selective catalytic reduction**

[cww/tm/158]  
 CEFIC, November 2000  
**IPPC BAT Reference Document**  
**Monitorización of Emissions**  
**Chemical Industry Contribution Paper**  
**Definitions**

[cww/tm/159]

Berlin 1999

**ATV Handbuch Industrieabwasser**

4<sup>th</sup> edition

[cww/tm/160]

**German Information**

[cww/tm/161]

Kluwer Academic Publishers 1994

Mulder, M.

**Energia Requirements in Membrane Separation Processes**

in: Crespo, Böddeker (ed.): Membrane Processes in Separation and Purification

[cww/tm/162]

UBA Berlin, 20.10.2000

**Classification of Toxicity, Whole Effluent Assessment (WEA) and Toxicity Test**

[cww/tm/163]

INERIS, 2001

**The Membrane Bioreactor**

[cww/tm/164]

INERIS, 2001

**The Biofilter for Industrial Waste Water Treatment**

[cww/tm/165]

UBA Berlin, 1999

K. Diehl, U. Hagendorf, J. Hahn

**Compilation of Biotest Data (English Summary)**

[cww/tm/166]

Verband der Chemischen Industrie e.V., May 2000

Erklärung des Verbandes der Chemischen Industrie

**“Handlungsziele für die Abwässer der chemischen Industrie”**

[cww/tm/167]

CEN as Member of TWG on Monitorización, version July 1999

**List of CEN Standards Available for the Monitorización of the Emissions of Industrial Plants under the IPPC Directive**

[cww/tm/168]

Parftec Limited, Wolverhampton (UK) 1999

**The KN-Filter – An All-metal Cake Filtration System for the More Arduous Gaseous Emission Control Aplicación**

# Capítulo 7.

## Anexos

Los Anexos suplementan la información facilitada en este documento. Son:

Anexo I	Operación conjunta de EDAR industrial y municipal.
Anexo II	Tecnología de Pinch como ejemplo de EMFA.
Anexo III	Monitorización de una EDAR biológica central.
Anexo IV	Normas de monitorización.
Anexo V	Plan de respuesta a incidentes de contaminación.
Anexo VI	Ejemplos de tratamiento de aguas y gases residuales.
Anexo VII	Legislación aplicada a aguas y gases residuales en el sector químico.

### 7.1. ANEXO I. Operación conjunta de EDAR industrial y municipal

#### Condiciones de tratamiento conjunto de aguas residuales municipales e industriales (ejemplo de Francia)

La norma general en la industria química en Francia es que los efluentes se traten in situ. Sin embargo, a veces se realiza el tratamiento conjunto de aguas residuales municipales e industriales, por ejemplo en producciones bioquímicas (como vitaminas o antibióticos por vía bioquímica), y en actividades de formulación y acondicionamiento en las que el caudal y la carga del efluente se mantienen manejables por una planta de tratamiento municipal. En tal caso, se realiza un estudio del impacto de las corrientes industriales en la planta de tratamiento municipal (impacto sobre el funcionamiento y el desecho de lodos) y se firma un “acuerdo de emisión industrial” entre la industria y las autoridades locales de gestión de aguas residuales.

Se dicta un Decreto Municipal que generalmente contiene las siguientes disposiciones principales del acuerdo:

- El pH del efluente debe estar comprendido entre 5,5 y 8,5 (eventualmente 9,5).
- Temperatura del efluente <30°C.
- El efluente no debe contener sustancias peligrosas para el personal de la EDAR municipal, la red de recogida, la EDAR en sí y su funcionamiento, el medio ambiente corriente debajo de la EDAR y la manipulación ulterior de los lodos de aguas residuales.
- Los caudales y cargas contaminantes máximos a descargar (DBO, DQO, SST, N-Kjeldahl total, N de (NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>), N no biodegradable, inhibidores de nitrificación, P total, otras sustancias que puedan tener impacto sobre el funcionamiento de la EDAR y la manipulación ulterior del lodo) o disposiciones relativas a instalaciones de tratamiento previo / recuperación que debe aplicar el complejo industrial antes de la descarga en la red de alcantarillado municipal.
- Condiciones económicas.

La convención de descarga describe además las condiciones técnicas del acuerdo de descarga fijado por el decreto municipal. Normalmente incluye lo siguiente:

- Disposiciones relativas de la red privada del complejo industrial, con el fin de evitar descargas no deseadas a la red pública.
- Descripción de las instalaciones de pretratamiento privadas que deban utilizarse con el fin de manejar adecuadamente las variaciones de caudal, los arranques y paradas de la planta, o que deban monitorizarse (los resultados de la monitorización deben enviarse a las autoridades municipales).
- Condiciones técnicas para las conexiones entre las redes privada y pública.
- Obligaciones diversas del complejo industrial, como:
  - La no dilución del efluente.
  - Las descargas excepcionalmente altas (ej. en caso de mantenimiento) deben suavizarse a lo largo de 24 horas.

- Los efluentes deben ser monitorizados, y las conexiones periódicamente inspeccionadas. Las autoridades locales pueden monitorizar el efluente por su propia iniciativa y comprobar el equipo de monitorización en colaboración con el operador industrial.
- El consumo de agua se monitoriza y los resultados se envían a las autoridades locales.
- Plan de acción en caso de emergencia (ej. cierre de las conexiones entre el sistema de alcantarillado municipal y el complejo industrial).
- Las obligaciones de las autoridades locales son:
  - Aceptar la descarga cuando esté dentro de los límites fijados en el acuerdo.
  - Informar al complejo industrial en caso de problemas operativos en la EDAR municipal.
- Cuestiones económicas y administrativas.

### Ejemplo de colaboración entre PTAR municipal e industrial con efecto sinérgico positivo (Alemania)

En la Sección 1.3.2.1 se mencionaba que normalmente no hay ventajas ni desventajas en el tratamiento conjunto de aguas residuales municipales e industriales. A continuación se describe un ejemplo en el que esto no es así.

En el pasado, dos EDAR –una municipal y la otra de una planta química industrial– cada una de las cuales aplicaba un tratamiento biológico central, tenían puntos de descarga separados a un pequeño río receptor. En la actualidad operan conjuntamente del modo siguiente:

- El filtrado rico en nitrógeno y poco biodegradable de los dispositivos de tratamiento de lodo de la EDAR municipal se trata en la EDAR industrial, que tiene microorganismos adaptados para tratar este tipo de agua residual.
- A cambio, la EDAR industrial envía una cantidad igual de agua residual a la EDAR municipal.

La Figura 7.1 y la Figura 7.2. muestran, respectivamente, los procesos antes y después del paso a la operación conjunta.

Esta cooperación tiene ventajas económicas y medioambientales. El uso de equipo en un solo complejo ahorra costes de inversión, y la descarga mutua reduce la carga de nitrógeno (suma de amonio, nitritos y nitratos) al río receptor en 1000 kg al día, en comparación con las descargas separadas anteriores.

## 7.2. ANEXO II. Ejemplo de EMFA: Tecnología de Pinch

Un instrumento ampliamente usado y bien conocido de EMFA (Análisis de flujo de energía y materia) es la tecnología de Pinch, utilizada para optimizar procesos de producción, ahorrar energía y consumo de agua y reducir el impacto de la descarga de agua. Dos de estos objetivos –la optimización del consumo de agua y de la descarga de agua– están dentro del ámbito de este BREF. La optimización de los procesos de producción es cubierta por BREF verticales y otras referencias [cww/tm/132].

La tecnología de Pinch es una metodología para optimizar el consumo de consumibles en procesos y complejos, introduciendo técnicas de integración de procesos. Inicialmente se utilizó como instrumento de ahorro de energía para mejorar la eficacia energética en las industrias químicas y de proceso. Recientemente, este método ha sido aplicado a la minimización de agua y aguas residuales y residuos.

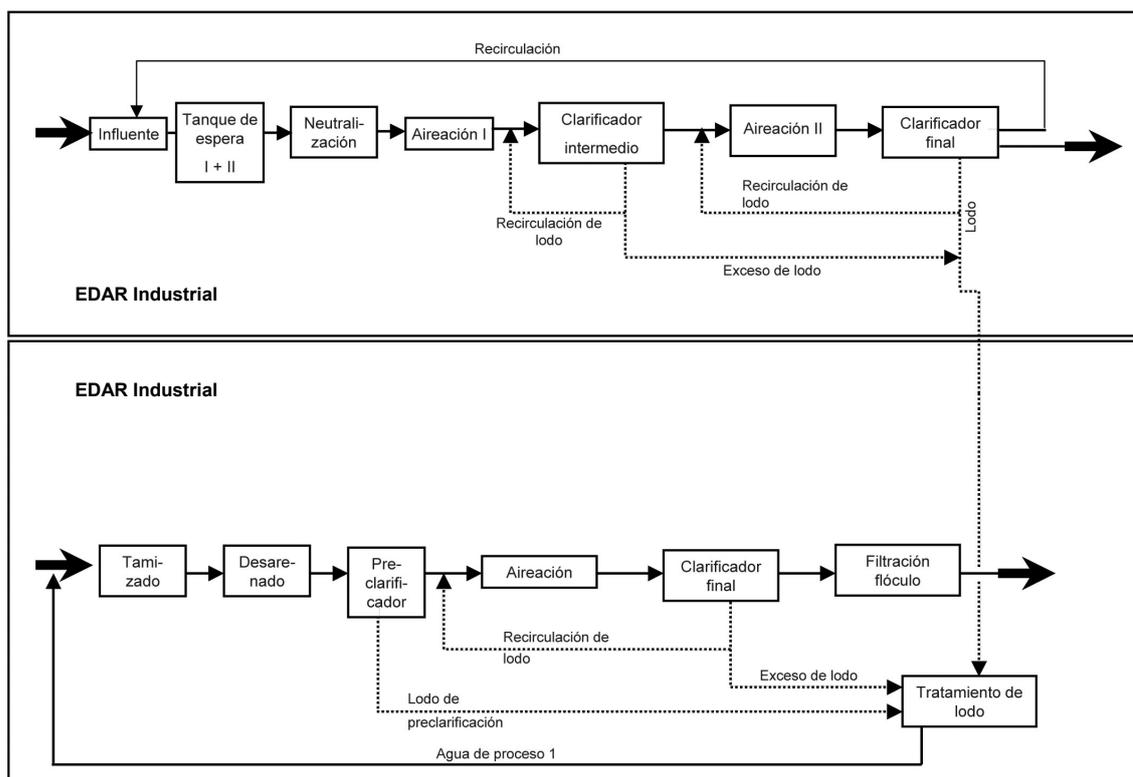


Figura 7.1. Cooperación entre una PTAR industrial y municipal: Situación antes

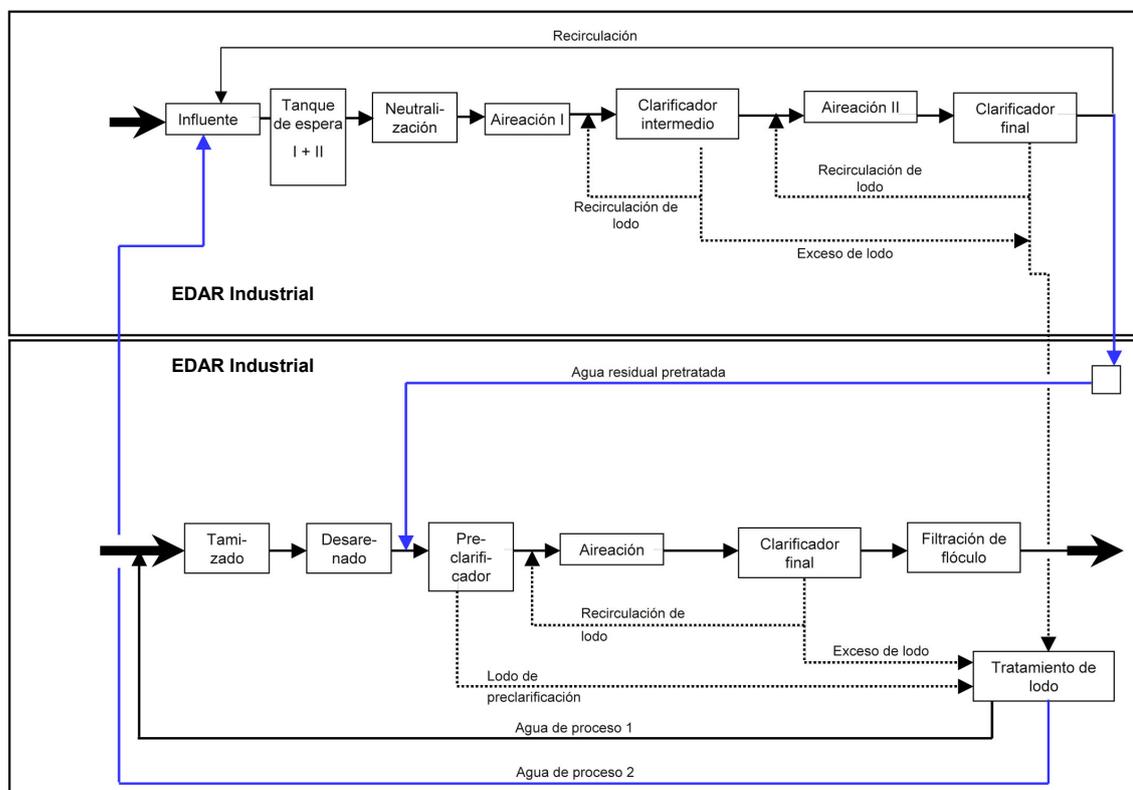


Figura 7.2. Cooperación entre una EDAR industrial y municipal: Nueva situación

Su concepto es definir y detectar potencial de ahorro de agua, por ejemplo mediante cambios de conducciones y de control, y minimizar la descarga de aguas residuales mediante modificaciones de proceso, permitiendo la regeneración selectiva de aguas residuales y reduciendo los costes de tratamiento. También se utiliza para diseñar o rediseñar el tratamiento distribuido de efluentes de modo que se reduzcan los costes de inversión reduciendo la carga hidráulica de una EDAR central.

Su aplicación puede desglosarse en cuatro pasos [cww/tm/86]:

**Paso 1:**

Crear un diagrama de flujo de todo el sistema de agua (suministro, descarga) que muestre todos los lugares en los que se usa agua, y todos los puntos en los que se genera agua residual.

Desarrollar un balance de agua con una precisión dentro del 10% de las corrientes mayores.

Definir los datos apropiados para el análisis, determinando las fuentes y los sumideros de agua.

En la Figura 7.3 [cww/tm/86] se presenta un perfil.

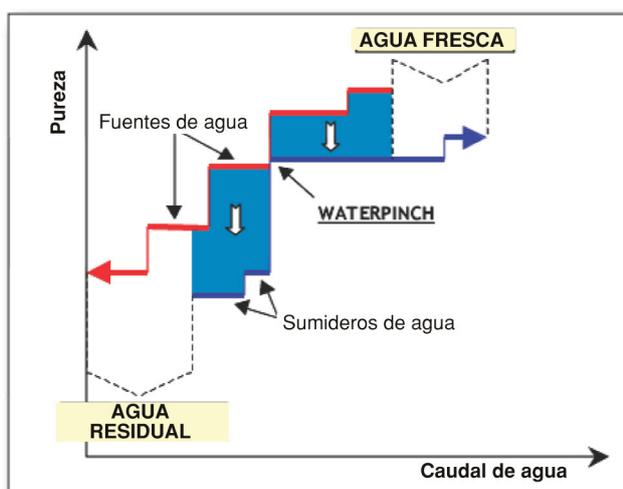


Figura 7.3. Tecnología de Pinch: análisis, curvas de fuentes y sumideros

**Paso 2:**

- Selección de los contaminantes o propiedades claves que evitan la reutilización directa de la corriente de agua residual correspondiente.
- Elección de las concentraciones de diseño: máximo permisible para sumideros, y mínimo práctico para fuentes.

**Paso 3:**

- Desarrollo del análisis de Pinch multidimensional para determinar las correspondencias óptimas entre fuentes y sumideros. Para esto se dispone de software apropiado. El procedimiento incluye la identificación de pinches y una consideración de las modificaciones de proceso y opciones de regeneración que producen objetivos más bajos.

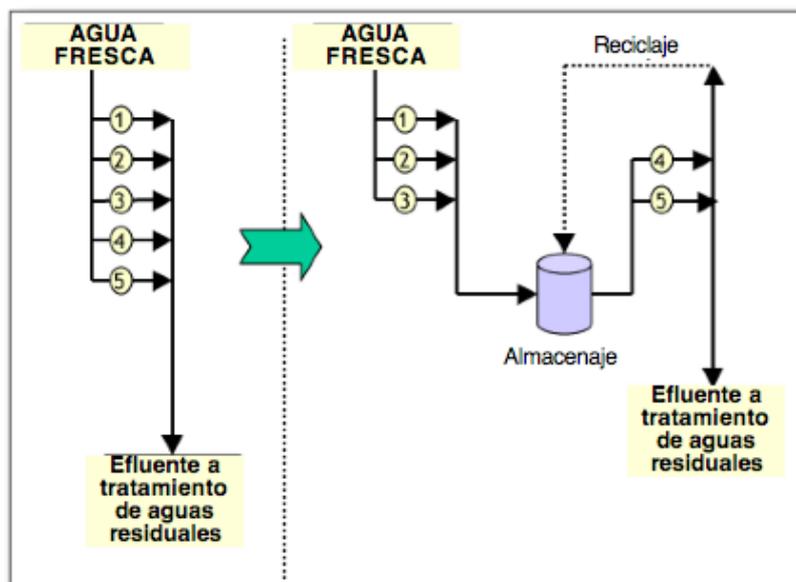
**Paso 4:**

- Repetición del paso 3 hasta obtener un diseño práctico.

La aplicación de la Tecnología de Pinch ha producido ahorros de aguas residuales de hasta un 60 % [cww/tm/86]. A continuación se dan ejemplos de eficacia en la reducción del caudal de aguas residuales:

- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| • Productos químicos y fibras   | 25 %    |
| • Productos químicos            | 40 %    |
| • Refino de petróleo            | 20–30 % |
| • Productos químicos del carbón | 50 %    |
| • Polímeros                     | 60 %    |

En la Figura 7 [cww/tm/86] se da un ejemplo de estrategia de conservación de agua.



*Figura 7.4. Ejemplo de estrategia de conservación de agua antes y después del análisis de Pinch*

Los ahorros de costes no están normalmente restringidos al ahorro de agua. Pueden ser significativos si la reducción de aguas residuales conduce a la construcción de una EDAR central más reducida, hace innecesaria la ampliación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales existentes o permite la expansión de la capacidad de la unidad de producción sin sobrecargar hidráulicamente la EDAR central existente. La modificación del proceso y la regeneración selectiva del agua puede producir la recuperación de productos, lo que también puede ser económicamente beneficioso.

Las principales aplicaciones de la tecnología de Pinch son [cww/tm/86]:

- Evitar recortes de producción en condiciones de suministro de agua reducido.
- Reducir los costes de suministro de agua.
- Reducir los costes de inversión de nuevas instalaciones de suministro de agua (ej. nuevos pozos o conducciones).
- Reducir los costes de inversión de las instalaciones de tratamiento de agua.
- Reducir los costes de tratamiento de aguas residuales.
- Reducir las tasas de alcantarillado.
- Reducir los costes de inversión de la ampliación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales in situ para poder absorber mayores cargas de producción o regulaciones de emisión más estrictas.
- Ayudar a cumplir con la normativa medioambiental.

### 7.3. ANEXO III. Monitorización de una EDAR biológica central

El funcionamiento apropiado de una EDAR biológica requiere una vigilancia constante y el ajuste programado de diversos parámetros de proceso. La monitorización de los parámetros relevantes puede realizarse mediante mediciones en línea que facilitan la intervención directa y el control, o resultados analíticos derivados de muestras de agua residual, que reflejan tendencias a más largo plazo y son también esenciales a efectos de monitorización y documentación. En la Tabla 7.1 se detallan las necesidades de mediciones en línea y los análisis aplicables a las distintas etapas de proceso asociadas con una EDAR. Los requisitos específicos pueden variar en casos individuales [cww/tm/132].

**Tabla 7.1.**  
**Monitorización de una EDAR**

Parámetro	Influyente	Neutralización	Preclarificación	Espera influente a tratam. biológico	Tratamiento biológico	Efluente	Tratamiento de lodo
<b>Análisis de mediciones en línea</b>							
Caudal agua residual	c					c	
pH	c	c	c	c	c	c	c
Temperatura	c					c	
Toxicidad bacterias	c						
COT				c	c	c	
Nitrógeno				c	c	c	
Fósforo				c	c	c	
Total sólidos [g/l]					c		
Oxígeno disuelto					c	c	
<b>Análisis de muestras aleatorias</b>							
Total sólidos [g/l]			i		i		i
Volumen sedimentación			i		i	i	
<b>Análisis de muestras medias</b>							
COT	i			i		i	
DQO	i			i		i	
DBO	i			i		i	
AOX / EOX	i			i		i	
Nitrógeno total	i			i		i	
N-NH <sub>4</sub>	i			i		i	
N-NO <sub>3</sub>	i			i		i	
Fósforo total	i			i		i	
P-PO <sub>4</sub>	i			i		i	
Sustancias individuales	i			i		i	
c: continuamente en línea							
i: muestras inhalatorias							

#### 7.4. ANEXO IV. Normas de monitorización

Las siguientes listas (versión julio de 1999) indican las normas CEN disponibles de parámetros analíticos para monitorización de emisiones en los campos de atmósfera, agua, lodos y sedimentos. Las normas CEN están adoptadas en todos los Estados Miembros [cww/tm/167].

La tabla lista las normas ratificadas por el CEN (número EN y fecha de ratificación) o los borradores que están en investigación o voto público (número ISO o provisional prEN). Si no se indica nada significa que el trabajo está todavía en curso.

##### Normas para agua, lodos y sedimentos

Parámetro	Dominio	Normas ratificadas por el CEN	Borradores en investigación o voto público
<b>Parámetros indirectos, suma y agrupados</b>			
AOX	agua	EN 1485: 1996	
BOD	agua	EN 1899: 1998	
Sólidos en suspensión	agua	EN 872: 1996	
COT	agua	EN 1484: 1997	

Parámetro	Dominio	Normas ratificadas por el CEN	Borradores en investigación o voto público
Agentes complejantes	agua		
Índice de hidrocarburos de petróleo	agua		ISO DIS
Consumo de oxígeno	agua, lodo	EN ISO 8192: 1995	
HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos)	agua		
Índice fenólico en análisis de flujo	agua, lodo		prEN 14402
Valor de permanganato	agua	EN ISO 8467: 1995	
Tensioactivos aniónicos	agua	EN 903: 1993	
Ensayo de simulación de lodo activado	agua	EN ISO 11733: 1998	
Biodegradabilidad inherente	agua	EN ISO 9887: 1994	
Índice de azul metileno en análisis de flujo	agua		
Inhibición de nitrificación	agua	EN ISO 9509: 1995	
Clostridios reductores de sulfitos	agua	EN 26461: 1993	
Biodegradabilidad última (CO <sub>2</sub> liberado)	agua	EN 29439: 1993	
Biodegradabilidad última (Zahn Wellens)	agua	EN 29888: 1993	
Biodegradabilidad última (respirómetro cerrado)	agua	EN 29408: 1993	
Biodegradabilidad última (medición DOC)	agua	EN ISO 7827: 1995	
Biodegradabilidad última (sustancias poco solubles)	agua	EN ISO 10634: 1995	
Biodegradabilidad última (producción de biogás)	agua	EN ISO 11734: 1998	
Biodegradabilidad última (Medición de DBO)	agua	EN ISO 10707: 1997	
Alcalinidad	agua	EN ISO 9963: 1995	
Color	agua	EN ISO 7887: 1994	
Conductividad eléctrica	agua	EN ISO 7888: 1993	
Olor, sabor	agua	EN 1622: 1997	
Turbidez	agua	EN 27027: 1999	
<b>Parámetros de toxicidad</b>			
Ensayo de inhibición de crecimiento de algas	agua	EN 28692: 1993	
Toxicidad para bacterias (pseudomonas)	agua	EN ISO 10712: 1995	
Toxicidad para peces	agua	EN ISO 7346: 1998	
Inhibición de movilidad de daphnia magna	agua	EN 6341: 1996	
Ensayo de bacterias luminiscentes	agua	EN ISO 11348: 1998	
Ensayo de inhibición de crecimiento de algas marinas	agua	EN ISO 10253: 1998	
<b>Sustancias orgánicas individuales</b>			
Benceno y homólogos	agua		
Tetracloruro de carbono (tetraclorometano)	agua	EN 10301: 1997	
Cloroformo (triclorometano), dicloroetano, tricloroetano, tetracloroetano	agua	ver EN 10301	

## Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico

Parámetro	Dominio	Normas ratificadas por el CEN	Borradores en investigación o voto público
Clorofenoles, fenoles policlorados	agua	EN 12673: 1997	
Epiclorhidrina	agua		
Hexaclorobenceno, triclorobenceno	agua	ver EN 6468	
Hexaclorociclohexano e isómeros	agua	EN 6468: 1996	
Organotina	agua		
<b>Pesticidas</b>			
Aldrina, dieldrina, endrina	agua	ver EN 6468	
Atracina, simacina por HPLC	agua	EN 11369: 1997	
Atracina, simacina por CG	agua		ISO/DIS 10695-1
DDT, DDD, DDE	agua	ver EN 6468	
Endosulfano	agua	ver EN 6468	
Parationa, parationa metílica y compuestos relacionados	agua		prEN 12918
Parationa y compuestos relacionados por extracción sólido-líquido	agua		
<b>Parámetros inorgánicos</b>			
Aluminio	agua		
Arsénico	agua	EN 11969: 1996 EN 6595: 1992	
Arsénico, selenio, antimonio por fluorescencia atómica	agua		
Cadmio	agua, lodo, sedimento	EN 5961: 1995	
Calcio y magnesio	agua		
Cloro	agua		
Cromo	agua, lodo, sedimento	EN 1233: 1996	
Nitrógeno Kjeldahl	agua	EN 25663: 1993	
Mercurio	agua, lodo, sedimento	EN 1483: 1997	
Mercurio – método de enriquecimiento	agua, lodo, sedimento	EN 12338: 1998	
Mercurio por fluorescencia atómica	agua, lodo, sedimento		
Metales por AAS sin llama	agua		
Talio por AAS	agua		
Nitrógeno total, método instrumental	agua	ENV 12260: 1996	
33 elementos por ICP-OES	agua, lodo, sedimento	EN ISO 11885: 1997	
<b>Parámetros inorgánicos, catiónicos</b>			
Amonio por análisis de flujo	agua	EN ISO 11732: 1997	
Cationes por Cl	agua, lodo	UAP 1998	
<b>Parámetros inorgánicos, aniónicos</b>			
Bromato por Cl	agua		
Cloro por análisis de flujo	agua		
Cianuro por análisis de flujo	agua, lodo		prEN 14403
Aniones disueltos por Cl	agua	EN ISO 10304-1: 1995 EN ISO 10304-2: 1996 EN ISO 10304-3: 1997	prEN 10304-4
Nitrito	agua	EN 26777: 1993	
Nitrito y nitrato por análisis de flujo	agua	EN ISO 13395: 1996	
Fosfato por análisis de flujo	agua		

Parámetro	Dominio	Normas ratificadas por el CEN	Borradores en investigación o voto público
Fósforo	agua	EN 1189: 1996	
Silicato por análisis de flujo	agua		
<b>Parámetros de calidad del agua</b>			
Oxígeno disuelto	agua	EN 25813: 1992 EN 25814: 1992	

**Normas para emisión a la atmósfera y al aire ambiente**

Parámetro	Dominio	Normas ratificadas por el CEN	Borradores en investigación o voto público
Aire del suelo	emisión atmosférica		
Benceno	aire ambiente		
Monóxido de carbono (CO)	aire ambiente		
Monóxido carbono (CO) Concentración en chimenea	emisión atmosférica		
Muestreadores por difusión Requisitos y métodos de ensayo	aire ambiente		prEN 13538-1
Muestreadores por difusión Requisitos y métodos de ensayo específicos	aire ambiente		prEN 13538-2
Muestreadores por difusión Guía de selección, uso, mantenimiento	aire ambiente		
Dioxinas y furanos Muestreo	emisión atmosférica	EN 1948-1: 1996	
Dioxinas y furanos Extracción y limpieza	emisión atmosférica	EN 1948-2: 1996	
Dioxinas y furanos Identificación y cuantificación	emisión atmosférica	EN 1948-3: 1996	
Polvo, total, a baja concentración Método de referencia	emisión atmosférica		prEN 13284-1
Polvo, total, a baja concentración Validación de AMS	emisión atmosférica		
HCl, gaseoso Muestreo y pretratamiento del gas	emisión atmosférica	EN 1911-1: 1997	
HCl, gaseoso Absorción de compuestos gaseosos	emisión atmosférica	EN 1911-2: 1997	
HCl, gaseosos Solución, análisis y cálculo	emisión atmosférica	EN 1911-3: 1997	
Emisiones fugitivas / difusas	emisión atmosférica		
Mercurio	aire ambiente		
Mercurio, total Método de referencia	emisión atmosférica		prEN 13211-1
Mercurio, total Validación de AMS	emisión atmosférica		
Metales – metaloides (excepto Hg – Sn)	emisión atmosférica		
Metales – metaloides Pb – Cd – As – Ni	aire ambiente		

## Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico

Parámetro	Dominio	Normas ratificadas por el CEN	Borradores en investigación o voto público
Oxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	aire ambiente		
Oxidos de nitrógeno (NO-NO <sub>2</sub> ) Concentración en chimenea	emisión atmosférica		
Olor por olfatometría dinámica	emisión atmosférica		
Carbono orgánico, gaseoso, total (FID) – baja concentración	emisión atmosférica		prEN 12619
Carbono orgánico, gaseoso, total (FID) – alta concentración	emisión atmosférica		prEN 13526
Carbono orgánico, gaseoso, compuestos individuales	emisión atmosférica		
Oxígeno (O <sub>2</sub> ) Concentración en chimenea	emisión atmosférica		
Ozono (O <sub>3</sub> )	aire ambiente		
Partículas (<PM <sub>10</sub> )	aire ambiente		prEN 12341
Partículas (<PM <sub>2.5</sub> )	aire ambiente		
Garantía de calidad de AMS Eficacia y requisitos	emisión atmosférica		
Garantía de calidad de AMS Validaciones periódicas	emisión atmosférica		
Garantía de calidad de AMS Monitorización de funcionamiento	emisión atmosférica		
Sistemas de certificación para AMS	emisión atmosférica y aire ambiente		
Estrategia / Calidad de medición de emisiones	emisión atmosférica		
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	aire ambiente		
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) Concentración en chimenea	emisión atmosférica		
Vapor de agua (vapor de H <sub>2</sub> O) Concentración en chimenea	emisión atmosférica		

### 7.5. ANEXO V. Plan de respuesta a incidentes de contaminación

A continuación se detalla un ejemplo de Plan de Respuesta a Incidentes de Contaminación [cww/tm/148], según se menciona en la Sección 2.2.4.2. La información solicitada es general, aplicable a todos los complejos. Las producciones especiales o características específicas de un determinado complejo pueden requerir información adicional.

NOMBRE Y DIRECCION DE LA EMPRESA	
NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD	
FECHA DEL PLAN	FECHA DE REVISION
APROBADO POR	FECHA
<b>COPIAS A</b>	AUTORIDAD MEDIOAMBIENTAL BOMBEROS POLICIA EMPRESA DE ALCANTARILLADO COMPAÑIA DE AGUAS AUTORIDADES LOCALES OTRA
<b>NUMEROS DE TELEFONO DE CONTACTO DURANTE EL HORARIO LABORAL Y FUERA DEL MISMO</b>	SERVICIOS DE EMERGENCIA POLICIA LOCAL SERVICIO MEDICO VIGILANCIA MEDIOAMBIENTAL AUTORIDADES MEDIOAMBIENTALES AUTORIDADES LOCALES EMPRESA DE ALCANTARILLADO COMPAÑIA DE AGUAS PROVEEDOR DE GAS PROVEEDOR DE ELECTRICIDAD CONTRATISTA DE RESIDUOS ASESORES ESPECIALIZADOS CONTRATISTAS DE LIMPIEZA
<b>CONTACTOS DE LA EMPRESA (FUERA DE HORARIO)</b>	DIRECTOR GERENTE DIRECTOR DEL COMPLEJO DIRECTOR MEDIOAMBIENTAL CAPATAZ CONTACTO EN LA OFICINA CENTRAL
PLANO DE DESAGÜES DEL COMPLEJO	
<b><u>INVENTARIO DE PETROLEO, COMPUESTOS QUIMICOS Y PRODUCTOS</u></b>	
CANTIDADES MAXIMAS EN LAS PUNTAS DE PRODUCCION	
NOMBRE	COMPUESTO LIQUIDO/GAS/POLVO TAMAÑO DEPOSITO CANTIDAD MAXIMA

## 7.6. ANEXO VI. Ejemplos de tratamiento de aguas y gases residuales

Los siguientes ejemplos ofrecen datos de plantas de tratamiento de efluentes en funcionamiento en distintos Estados Miembros de la UE. Su inclusión, no obstante, no implica automáticamente que todas estas plantas y sus equipos sean MTD. Las conclusiones sobre MTD se detallan en el Capítulo 4.

### 7.6.1. Información técnica sobre plantas de tratamiento de aguas residuales (ejemplos)

[cww/tm/105]

	<b>Ejemplo I</b>	<b>Ejemplo II</b>
<b>Producción</b>	Diversa, principalmente orgánica	Diversa
<b>Año de construcción</b>	1988	1978
<b>Función</b>	Planta biológica de columna con clarificación final separada para el tratamiento de aguas residuales químicas.	Planta biológica de columna con clarificación final.
<b>Pasos de proceso</b>	Neutralización Tratamiento biológico Clarificación final	Ecuilibración Neutralización Tratamiento biológico Sedimentación
<b>Características de la planta</b>	- Tanque intermedio: V = 300 m <sup>3</sup> - Tanque de neutralización: V = 3.0 m <sup>3</sup> - 2 tanques de aireación: V = 3000 m <sup>3</sup> cada uno - Tolva inferior, diámetro 14 m	- 2 tanques intermedios: V = 1500 m <sup>3</sup> - 1 tanque intermedio: V = 1700 m <sup>3</sup> - 3 recipientes neutralización: V = 25 m <sup>3</sup> cada uno - 6 columnas de tratamiento biológico: V = 1600 m <sup>3</sup> cada una, diámetro 11 m - 6 tolvas inferiores: V = 112 m <sup>3</sup> cada una como clarificación final.
<b>Tratamiento de lodo</b>	Deshidratación antes de incineración externa	Centrífuga Evaporación Combustión
<b>Datos de proceso</b>		
<b>Caudal de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	5280	3840
<b>Carga de DQO [toneladas/d]</b>	4,2	3
<b>Carga de N-NH<sub>4</sub></b>	0,2	0,3
<b>DBO<sub>5</sub> [toneladas/d]</b>	1,75	1
<b>N orgánico [toneladas /d]</b>	0,15	
<b>N-NO<sub>3</sub> [toneladas /d]</b>		0.5
<b>P-PO<sub>4</sub> [toneladas /d]</b>	0,005	
<b>Consumibles</b>		
<b>Entrada de O<sub>2</sub> [toneladas /d]</b>	12,0	6,8
<b>Floculantes [toneladas /año]</b>	6	1,57
<b>Nutrientes [toneladas /año]</b>	1,18	
<b>Electricidad EDAR [MWh/año]</b>	885	2581
<b>Electricidad tratamiento de lodo [MWh/año]</b>	38	105
<b>Vapor EDAR [toneladas /año]</b>	-	1200
<b>Vapor tratamiento de lodo [toneladas /año]</b>	-	50718
<b>Aire comprimido EDAR [1000 Nm<sup>3</sup>/año]</b>	1700	4750
<b>Aire comprimido tratamiento de lodo [Nm<sup>3</sup>/año]</b>	-	17,6

	Ejemplo I	Ejemplo II
<b>Efectos sobre otros medios</b>		
<b>Lodo [toneladas sólidos secos/d]</b>	0,11	0,13
<b>Lodo [toneladas sólidos secos por tonelada de DQO eliminada]</b>	34	118
<b>Datos de eficacia <sup>a</sup></b>		
<b>Cantidad de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	4704	1882
<b>Eliminación de DQO [%]</b>	53	81
<b>Emisión de DQO [mg/l]</b>	616	132

<sup>a</sup> media diaria

	Ejemplo III	Ejemplo IV
<b>Producción</b>	Diversa: Compuestos químicos de gran volumen y de química fina, orgánicos e inorgánicos	
<b>Año de construcción</b>	1972-74, ampliaciones 1979, 1981, 1985-6	1978, ampliación 1994, 1999
<b>Función</b>	Tratamiento biológico en columna para alta carga y tratamiento biológico en tanque para baja carga	Tratamiento biológico en columna con clarificación final
<b>Pasos de proceso</b>	Tamiz de reja Neutralización Preclarificación Estabilización, equalización Desnitrificación parcial Etapa biológica 1 con clarificación intermedia Etapa biológica 2 con clarificación final Flotación Tratamiento de gas de escape Tratamiento de lodo	Tamiz de reja Neutralización Preclarificación Estabilización, equalización Etapa biológica 1 Etapa biológica 2 Clarificación final Tratamiento de lodo
<b>Características de la planta</b>	- Neutralización: V = 628 m <sup>3</sup> - 8 preclarificadores industriales: V = 480 m <sup>3</sup> cada uno - 2 preclarificadores municipales: V = 1950 m <sup>3</sup> cada uno - 3 tanques intermedios: V = 10000 m <sup>3</sup> c.u. - 2 tanques intermedios: V = 25000 m <sup>3</sup> c.u. - 1 tanque intermedio: V = 15000 m <sup>3</sup> - 1 tanque de desnitrificación: V = 10000 m <sup>3</sup> - 4 columnas biológicas: V = 13000 m <sup>3</sup> c.u. - 4 clarificadores intermedios: V = 1000 m <sup>3</sup> cada uno - Balsa de aireación 1: V = 11000 m <sup>3</sup> - Balsa de aireación 2: V = 25000 m <sup>3</sup> - 6 tolvas inferiores: cada una V = 1520 m <sup>3</sup> , diámetro 18 m - 4 tolvas inferiores: cada una V = 1520 m <sup>3</sup> , diámetro 20 m - 3 clarificadores secundarios - 2 tanques de flotación: diámetro 12 m	- Neutralización: V = 600 m <sup>3</sup> - 1 tanque intermedio: V = 15600 m <sup>3</sup> - 1 tanque de aireación: V = 5000 m <sup>3</sup> - 1 balsa de aireación: V = 5500 m <sup>3</sup> - 4 balsas de aireación: V = 2000 m <sup>3</sup> c.u. - 3 balsas de clarificación: V = 3500 m <sup>3</sup> , diámetro 40 m cada una
<b>Tratamiento de lodo</b>	Espesador Acondicionamiento de cal y hierro Deshidratación mecánica con filtros de prensa con membranas Combustión de lodo	Espesador de lodo 2 prensas filtrantes

	Ejemplo III	Ejemplo IV
<b>Datos de proceso (parte industrial / municipal)</b>		
<b>Caudal de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	65000 / 65000 (clima seco) 65000 / 180000 (clima lluvioso)	18000
<b>Carga de DQO [toneladas/d]</b>	150 / 40	26
<b>Carga de N-NH<sub>4</sub></b>	3 / 2,5	0,6
<b>DBO<sub>5</sub> [toneladas/d]</b>	80 / 20	8
<b>N orgánico [toneladas /d]</b>	5 / 1	
<b>N-NO<sub>3</sub> [toneladas /d]</b>	3 / -	2,1
<b>P-PO<sub>4</sub> [toneladas /d]</b>	1.6 / 0.8	0,07
<b>Consumibles</b>		
<b>Entrada de O<sub>2</sub> [toneladas /d]</b>	180 (columna) / 30 (tanque)	20
<b>Floculantes [toneladas /año]</b>	50	360
<b>Nutrientes [toneladas /año]</b>		10,6
<b>Electricidad EDAR [MWh/año]</b>	39558	4320
<b>Electricidad tratamiento de lodo [MWh/año]</b>	3644	145
<b>Electricidad tratamiento aire de escape [MWh/año]<sup>a</sup></b>	2812	
<b>Vapor EDAR [toneladas /año]</b>	4241	
<b>Vapor tratamiento de lodo [toneladas /año]</b>	3	
<b>Aire comprimido EDAR [1000 Nm<sup>3</sup>/año]</b>	199459	
<b>Aire comprimido tratamiento de lodo [Nm<sup>3</sup>/año]</b>	3220	
<b>Efectos sobre otros medios</b>		
<b>Lodo [t sólidos secos/d]</b>	77,25	7,9
<b>Lodo [t sólidos secos por tonelada de DQO eliminada]</b>	720	620
<b>Datos de eficacia<sup>b</sup></b>		
<b>Cantidad agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	148615	12269
<b>Eliminación de DQO [%]</b>	87	91
<b>Emisión de DQO [mg/l]</b>	107	106
<sup>a</sup> tratamiento térmico del gas de escape		
<sup>b</sup> media diaria		

	Ejemplo V	Ejemplo VI
<b>Producción</b>	Diversa, principalmente orgánica	Diversa, principalmente orgánica
<b>Año de construcción</b>	1977	1974-76
<b>Función</b>	Tratamiento de aguas residuales para plantas de producción química	Desnitrificación y tratamiento biológico
<b>Pasos de proceso</b>	Neutralización Preclarificación Desnitrificación Tratamiento biológico Clarificación final Flotación Enfriamiento Tratamiento de lodo	Neutralización Preclarificación Desnitrificación Clarificación final Tratamiento biológico
<b>Características de la planta</b>	- Neutralización: V = 220 m <sup>3</sup> / V = 110 m <sup>3</sup> - Preclarificación: V = 1000 m <sup>3</sup> - 2 balsas de desnitrificación:	- Neutralización: V = 380 m <sup>3</sup> - 4 tanques de preclarificación: V = 750 m <sup>3</sup> cada uno - 3 balsas intermedias: V = 9100 m <sup>3</sup>

	Ejemplo V	Ejemplo VI
	V = 1500 m <sup>3</sup> cada una - 2 balsas aireación: V = 2500 m <sup>3</sup> c.u. - 2 tolvas inferiores, diámetro 14 m cada una	- Balsa de aireación / desnitrificación: V = 28000 m <sup>3</sup> cada una - 16 tanques de clarificación, diámetro 15 m
<b>Tratamiento de lodo</b>	Espesador Acondicionamiento con polielectrolitos Centrífuga Secado del lodo	Preespesamiento mediante separadores Deshidratación del exceso de lodo y desecho en vertedero con otros lodos
<b>Datos de proceso</b>		
<b>Caudal de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	8500	60000
<b>Carga de DQO [toneladas/d]</b>	17,5	60
<b>Carga de N-NH<sub>4</sub></b>	0,96	
<b>DBO<sub>5</sub> [toneladas/d]</b>	9,55	
<b>N orgánico [toneladas /d]</b>	0,45	
<b>N-NO<sub>3</sub> [toneladas /d]</b>	1,9	
<b>P-PO<sub>4</sub> [toneladas /d]</b>		
<b>Consumibles</b>		
<b>Entrada de O<sub>2</sub> [toneladas /d]</b>	16	15-20
<b>Floculantes [toneladas /año]</b>	196,2	17
<b>Nutrientes [toneladas /año]</b>	7,71	91
<b>Electricidad EDAR [MWh/año]</b>	4204	1163
<b>Electricidad tratamiento de lodo [MWh/año]</b>	625	3882
<b>Vapor EDAR [toneladas /año]</b>	36	641
<b>Vapor tratamiento de lodo [toneladas /año]</b>	2380	120
<b>Aire comprimido EDAR [1000 Nm<sup>3</sup>/año]</b>	356	337
<b>Aire comprimido tratamiento de lodo [Nm<sup>3</sup>/año]</b>	39,5	166
<b>Efectos sobre otros medios</b>		
<b>Lodo [t sólidos secos/d]</b>	1,83	103
<b>Lodo [t sólidos secos por tonelada de DQO eliminada]</b>	150	2000
<b>Datos de eficacia <sup>b</sup></b>		
<b>Cantidad agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	8616	61359
<b>Eliminación de DQO [%]</b>	84	87
<b>Emisión de DQO [mg/l]</b>	255	120

<sup>a</sup> media diaria

	Ejemplo VII	Ejemplo VIII
<b>Producción</b>	Diversa, principalmente orgánica	Diversa, principalmente orgánica
<b>Año de construcción</b>	1977	1977/78
<b>Función</b>	Pretratamiento de aguas residuales de PTAR central, tratamiento de aguas residuales en 2 etapas consistente en tratamiento biológico con precipitación simultánea de fosfato y nitrificación en una planta cerrada	Tratamiento de aguas residuales para plantas de producción química y farmacéutica
<b>Pasos de proceso</b>	Tamiz de reja Neutralización Preclarificación Tratamiento biológico	Tamiz de reja Tanques de espera, equalización Neutralización Etapa biológica 1 (con oxígeno puro)

	Ejemplo VII	Ejemplo VIII
	Clarificación intermedia Nitrificación Clarificación final	Clarificación intermedia Etapa biológica 2 Clarificación final
<b>Características de la planta</b>	- 2 tanques neutralización: V = 380 m <sup>3</sup> - 4 preclarificación: V = 750 m <sup>3</sup> c.u. - 3 Balsas de espera: V = 9000 m <sup>3</sup> c.u. - 2 Balsas aireación: V = 5600 m <sup>3</sup> c.u. - 1 Clarificadores intermedios: diámetro 20 m, superficie 300 m <sup>2</sup> - 2 Clarificadores finales: diámetro 20 m, superficie 300 m <sup>2</sup>	- Neutralización: V = 50 m <sup>3</sup> - 2 Tanques de espera: V = 4000 m <sup>3</sup> c.u. - 2 Balsas aireación: V = 3100 m <sup>3</sup> c.u. - 1 Clarificador intermedio: V = 4400 m <sup>3</sup> - 2 Balsas aireación: V = 1600 m <sup>3</sup> c.u. - 2 Clarificadores finales: V = 2400 m <sup>3</sup>
<b>Tratamiento de lodo</b>	El exceso de lodo se bombea a deshidratación de lodo	El exceso de lodo se trata externamente
<b>Datos de proceso</b>		
<b>Caudal de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	8000	20000
<b>Carga de DQO [toneladas/d]</b>	15	60
<b>Carga de N-NH<sub>4</sub></b>	1,5	0,1
<b>DBO<sub>5</sub> [toneladas/d]</b>		34
<b>N orgánico [toneladas /d]</b>		
<b>N-NO<sub>3</sub> [toneladas /d]</b>	1,5	
<b>P-PO<sub>4</sub> [toneladas /d]</b>	0,2	
<b>Consumibles</b>		
<b>Entrada de O<sub>2</sub> [toneladas /d]</b>	30	60
<b>Floculantes [toneladas /año]</b>	2,1	
<b>Nutrientes [toneladas /año]</b>	37,5	12
<b>Electricidad PTAR [MWh/año]</b>	6200	5155
<b>Electricidad tratamiento de lodo [MWh/año]</b>		
<b>Electricidad tratamiento aire de escape [MWh/año]<sup>a</sup></b>	675	
<b>Vapor PTAR[toneladas /año]</b>	2323	
<b>Vapor tratamiento de lodo [toneladas /año]</b>		
<b>Aire comprimido PTAR [1000 Nm<sup>3</sup>/año]</b>	3261	
<b>Aire comprimido tratamiento de lodo [Nm<sup>3</sup>/año]</b>		
<b>Efectos sobre otros medios</b>		
<b>Lodo [t sólidos secos/d]</b>	3,75	3,08
<b>Lodo [t sólidos secos por tonelada de DQO eliminada]</b>	340	300
<b>Datos de eficacia<sup>b</sup></b>		
<b>Cantidad agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	5344	3549
<b>Eliminación de DQO [%]</b>	83	98
<b>Emisión de DQO [mg/l]</b>	411	56
<sup>a</sup> tratamiento térmico del gas de escape		
<sup>b</sup> media diaria		

	Ejemplo IX	
<b>Producción</b>	Diversa, orgánica e inorgánica	
<b>Año de construcción</b>	1974/75, ampliación 1980/81	
<b>Función</b>	Tratamiento de aguas residuales para plantas de producción química	

<b>Ejemplo IX</b>		
<b>Pasos de proceso</b>	Tamiz de reja Neutralización Almacenaje intermedio, equalización Preclarificación Etapa biológica 1 Clarificación intermedia Etapa biológica 2 Clarificación final Flotación Tratamiento del gas de escape	
<b>Características de la planta</b>	- Tanque de neutralización: V = 240 m <sup>3</sup> - 2 tanques espera: V = 5000 m <sup>3</sup> c.u. - 2 Preclarificadores: V = 3000 m <sup>3</sup> - Balsa de aireación 1: V = 6000 m <sup>3</sup> - 2 Clarificadores intermedios: superficie 500 m <sup>2</sup> - Balsa de aireación 2: V = 8000 m <sup>3</sup> - 6 tolvas inferiores: diámetro 15 m - 2 células de flotación: diámetro 10 m	
<b>Tratamiento de lodo</b>	El exceso de lodo es bombeado a tratamiento externo	
<b>Datos de proceso</b>		
<b>Caudal de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	36000	
<b>Carga de DQO [toneladas/d]</b>	35	
<b>Carga de N-NH<sub>4</sub></b>	1	
<b>DBO<sub>5</sub> [toneladas/d]</b>	20	
<b>N orgánico [toneladas /d]</b>		
<b>N-NO<sub>3</sub> [toneladas /d]</b>	1	
<b>P-PO<sub>4</sub> [toneladas /d]</b>		
<b>Consumibles</b>		
<b>Entrada de O<sub>2</sub> [toneladas /d]</b>	35	
<b>Floculantes [toneladas /año]</b>	12,87	
<b>Nutrientes [toneladas /año]</b>	30	
<b>Electricidad EDAR [MWh/año]</b>	11107	
<b>Electricidad tratamiento de lodo [MWh/año]</b>	219	
<b>Electricidad tratamiento aire de escape [MWh/año]<sup>a</sup></b>	788	
<b>Vapor EDAR [toneladas /año]</b>	1615	
<b>Vapor tratamiento de lodo [toneladas /año]</b>		
<b>Aire comprimido EDAR [1000 Nm<sup>3</sup>/año]</b>	1183	
<b>Aire comprimido tratamiento de lodo [Nm<sup>3</sup>/año]</b>		
<b>Efectos sobre otros medios</b>		
<b>Lodo [t sólidos secos/d]</b>	4,73	
<b>Lodo [t sólidos secos por tonelada de DQO eliminada]</b>	250	
<b>Datos de eficacia<sup>b</sup></b>		
<b>Cantidad agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	22700	
<b>Eliminación de DQO [%]</b>	95	
<b>Emisión de DQO [mg/l]</b>	44	
<sup>a</sup> tratamiento del gas de escape con carbón activado		
<sup>b</sup> media diaria		

7.6.2. Información sobre descargas de agua residual (ejemplos)

[cww/tm/160]

	Ejemplo X			Ejemplo XI		
<b>Producción</b>	Ingredientes farmacéuticos activos e intermedios			Compuestos inorgánicos de química fina, fármacos		
<b>Pasos de proceso</b>	Tamiz de reja Neutralización Almacenaje intermedio, ecualización Desnitrificación Tratamiento biológico, 2 etapas Microtamizado			Agua residual con carga principalmente inorgánica: - Neutralización - Precipitación, floculación, sedimentación El agua residual con carga orgánica relevante se trata externamente		
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>				Oxidación húmeda (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /sal de Fe) para corriente tributaria (reducción de DQO)		
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>	Instalación de tratamiento biológico adicional V = 13500 m <sup>3</sup> (cubre 3 días)			Instalaciones adicionales de retención y tratamiento V = 3800 m <sup>3</sup> y V = 1800 m <sup>3</sup>		
<b>Tratamiento del gas de escape</b>	Instalaciones cerradas, excepto etapas biológicas					
<b>Cantidad de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	3800			3500		
<b>Datos de eficacia <sup>a</sup></b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>
<b>DQO</b>	1600	100	94	150	40	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	1100	7	>99	49	20	
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	30	2	93			
<b>N inorgánico total</b>		20				
<b>N total</b>	40	25	37,5	15	15	
<b>P total</b>	4,2	0,5	88	3,8	0,3	
<b>T<sub>F</sub></b>		2				
<b>T<sub>D</sub></b>		1				
<b>T<sub>A</sub></b>		1-8				
<b>T<sub>L</sub></b>		1-8				
<b>T<sub>M</sub></b>		1,5				

<sup>a</sup> media diaria

	Ejemplo XII	Ejemplo XIII
<b>Producción</b>	Productos químicos orgánicos de inorgánicos de gran volumen, polímeros, colorantes, ingredientes farmacéuticos e intermedios, agua residual municipal (13 %)	Ingredientes farmacéuticos, pesticidas, colorantes
<b>Pasos de proceso</b>	Neutralización Sedimentación Tratamiento biológico Clarificación final (sedimentación)	Neutralización Sedimentación Tratamiento biológico en columna con clarificación final
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>	Desorción (amoníaco de corrientes tributarias) Extracción (corrientes tributarias para producción de pesticidas) Precipitación de metales pesados	Adsorción central con GAC (corrientes tributarias de producción de compuestos nitroaromáticos con alta carga de AOX), regeneración in situ
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>	Posibilidad de aislar 2 tanques de aireación Volumen de retención 60000 m <sup>3</sup>	Instalación de retención V = 12000 m <sup>3</sup>
<b>Tratamiento del gas de escape</b>	Etapas biológicas cerradas	Etapas biológicas cerradas Combustión de gas residual

	Ejemplo XII			Ejemplo XIII		
<b>Cantidad de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	430000			11000		
<b>Datos de eficacia <sup>a</sup></b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>
<b>DQO</b>	1050	112	91	160	18	89 <sup>b</sup>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	500	7	98,6		1	
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	27	22	19,5	4.2	0,9	78
<b>N inorgánico total</b>		22		50	28	44
<b>N total</b>						
<b>P total</b>	9	0,5	94		0,13	
<b>AOX</b>				1.1	0,16	85 <sup>c</sup>
<b>T<sub>F</sub></b>		2			2	
<b>T<sub>D</sub></b>		2			1	
<b>T<sub>A</sub></b>		2			3	
<b>T<sub>L</sub></b>		8				
<b>T<sub>M</sub></b>		1,5				

<sup>a</sup> media diaria  
<sup>b</sup> 96 % considerando el pretratamiento  
<sup>c</sup> 99 % considerando el pretratamiento

	Ejemplo XIV			Ejemplo XV		
<b>Producción</b>	Polímeros, fibras, abrillantadores ópticos, detergentes, ingredientes farmacéuticos			Estabilizadores a la luz, antioxidantes, inhibidores de corrosión, aditivos, estabilizadores		
<b>Pasos de proceso</b>	Neutralización Clarificación primaria Tratamiento biológico: filtros de goteo, tanque de lodo activado Clarificación final			Neutralización Separación aceite-agua Floculación, clarificación Desnitrificación Tratamiento biológico en 2 etapas Clarificación final Flotación		
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>	Sedimentación de resinas naturales en corrientes tributarias Destilación de corrientes tributarias de producciones farmacéuticas con reciclaje de disolvente			Precipitación-floculación-sedimentación-filtración (corriente tributaria de producción de organoestánicos) Destilación (corriente tributaria de producción de aminas)		
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>	Tanques de retención V = 9500 m <sup>3</sup>			2 tanques intermedios V = 250 m <sup>3</sup>		
<b>Tratamiento del gas de escape</b>	Combustión de gas residual de filtros de goteo y espesadores de lodo			Biofiltro Combustión del gas residual del espesador de lodo		
<b>Cantidad de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	14700			1300		
<b>Datos de eficacia <sup>a</sup></b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>
<b>DQO</b>	2300	350	85	4750	220	95.4
<b>DBO<sub>5</sub></b>	920	18	98	2430	18	99.3
<b>N-NH<sub>4</sub></b>						
<b>N inorgánico total</b>	65	7	89	88	14,7	83,3
<b>N total</b>						
<b>P total</b>	4,4	0,5	88,4	16	1,5	90,6
<b>AOX</b>	0,4	0.16	60	1,5	0,25	83,3
<b>T<sub>F</sub></b>		2			3	

	Ejemplo XIV			Ejemplo XV		
<b>T<sub>D</sub></b>		2			5	
<b>T<sub>A</sub></b>		8			12	
<b>T<sub>L</sub></b>		2			8	
<b>T<sub>M</sub></b>						
<sup>a</sup> media diaria						

	Ejemplo XVI			Ejemplo XVII		
<b>Producción</b>	Compuestos químicos especiales orgánicos e inorgánicos			Ingredientes farmacéuticos, vitaminas, compuestos orgánicos de química fina		
<b>Pasos de proceso</b>	Neutralización Clarificación preliminar Desnitrificación Tratamiento biológico con clarificación final integrada			Neutralización Clarificación preliminar Tratamiento biológico con desnitrificación Clarificación final		
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>	Oxidación húmeda con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> de corrientes tributarias de producción de fungicidas Oxidación de corrientes tributarias que contienen Na <sub>2</sub> S Concentración de corrientes tributarias que contiene ácido sulfúrico Precipitación de corrientes tributarias que contienen Ni y reciclaje de Ni			Precipitación de Hg y Ni de corrientes tributarias Desorción de corrientes tributarias que contienen altas concentraciones de AOX y disolventes		
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>	Instalaciones de retención V = 18000 m <sup>3</sup>			Instalaciones de retención V = 23000 m <sup>3</sup> Instalaciones para tratamiento con carbón activado		
<b>Tratamiento del gas de escape</b>	Biofiltro para gas residual de tanques intermedios, clarificación preliminar y espesador de lodo			Tratamiento biológico y tanques intermedios cerrados Lavador biológico		
<b>Cantidad de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	4300			5750		
<b>Datos de eficacia <sup>a</sup></b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>
<b>DQO</b>	1750	68	96	1740	98	94.4
<b>DBO<sub>5</sub></b>	820	9	99	890	5	99.4
<b>N-NH<sub>4</sub></b>						
<b>N inorgánico total</b>	35	3,7	89,5	45	2,7	94
<b>N total</b>						
<b>P total</b>	5	0,7	86	7	0,9	87
<b>AOX</b>		0,3			0,4	
<b>T<sub>F</sub></b>		2				
<sup>a</sup> media diaria						

	Ejemplo XVIII			Ejemplo XIX		
<b>Producción</b>	Tintes textiles, intermedios, plásticos, resinas			Colorantes orgánicos e intermedios, abrlantadores ópticos, antimicrobianos, aguas residuales municipales (50 %)		
<b>Pasos de proceso</b>	Neutralización Sedimentación Tratamiento biológico en columna con clarificación final integrada			Neutralización en 2 etapas Clarificación preliminar Tratamiento biológico en 2 etapas con desnitrificación / nitrificación Clarificación final		

	Ejemplo XVIII	Ejemplo XIX				
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>	Reciclaje de ácido nítrico de corrientes tributarias Filtración – extracción – desorción	Oxidación húmeda central a alta presión para corrientes tributarias con carga de COT recalcitrante Desorción de amoníaco Precipitación de Cu del efluente de oxidación húmeda Precipitación de metales pesados de varias corrientes tributarias Adsorción de corrientes tributarias especiales Extracción de corrientes tributarias especiales, concentrado a oxidación húmeda NF de corrientes tributarias de producción de colorantes (concentrado a oxidación húmeda, refinado a PTAR)				
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>	Tanques de retención V = 10000 m <sup>3</sup> y V = 7500 m <sup>3</sup>	Tanques de retención V = 6000 m <sup>3</sup>				
<b>Tratamiento del gas de escape</b>	Instalaciones cerradas	Instalaciones cerradas, excepto tratamiento biológico y clarificación final Gas de escape con plasmacat (ozono, ionización)				
<b>Cantidad de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	16000	11000				
<b>Datos de eficacia <sup>a</sup></b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>
<b>DQO</b>	620	107	83	1000	250	75 <sup>b</sup>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	280	7	97,5	370	6	98,4
<b>N-NH<sub>4</sub></b>				152	13	91,5
<b>N inorgánico total</b>	42	24	43	153	18	88
<b>N total</b>						
<b>P total</b>		1,6		7	1,1	84
<b>AOX</b>		1,2		8.5	1,7	80
<b>T<sub>F</sub></b>		2			2	
<b>Producción</b>		2			1-4	
<b>Pasos de proceso</b>		1			1-32	
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>		19			4-32	
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>					1.5	

<sup>a</sup> media diaria  
<sup>b</sup> 89 % considerando la oxidación húmeda

	Ejemplo XX
<b>Producción</b>	Vitaminas, intermedios
<b>Pasos de proceso</b>	Neutralización Clarificación primaria, esencialmente carbón activado Filtro de goteo Planta de lodo activado, nitrificación, desnitrificación Clarificación final
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>	Oxidación húmeda a baja presión para corriente tributaria con COT recalcitrante Evaporación de corrientes de aguas residuales con alta carga orgánica e incineración subsiguiente del residuo Destilación de disolvente, reciclaje Extracción de COT recalcitrante de corrientes tributarias Hidrólisis de corrientes tributarias que contienen COT recalcitrante

Ejemplo XX			
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>	Tanque de retención V = 10000 m <sup>3</sup> Posibilidad de aislar y no usar una balsa		
<b>Tratamiento del gas de escape</b>	Tratamiento del gas de escape por adsorción con GAC, instalaciones cerradas		
<b>Cantidad de agua residual [m<sup>3</sup>/d]</b>	8000		
<b>Datos de eficacia <sup>a</sup></b>	<b>Entrada [mg/l]</b>	<b>Salida [mg/l]</b>	<b>Eficacia [%]</b>
<b>DQO</b>	3300	167	95
<b>DBO<sub>5</sub></b>	1400	7	99,5
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	100	5	95
<b>N inorgánico total</b>	100	7	93
<b>N total</b>	155 <sup>b</sup>	23 <sup>b</sup>	85
<b>P total</b>	5	0,9	82
<b>AOX</b>	1.1	0,13	88
<b>T<sub>F</sub></b>		2	
<b>Producción</b>		1-2	
<b>Pasos de proceso</b>		1	
<b>Instalaciones de pretratamiento</b>		1	
<b>Instalaciones para situaciones de emergencia</b>		1,5	

<sup>a</sup> media diaria  
<sup>b</sup> N-Kjeldahl

### 7.6.3. Información sobre sistemas de tratamiento completo de aguas residuales in situ (ejemplos)

#### Ejemplo XXI

El ejemplo XXI describe un complejo químico industrial en Finlandia compartido por cinco empresas químicas ((A –E), cuyas características de producción son:

Empresa	Producción principal	Capacidad [toneladas/año]
A	Productos de petróleo y lubricantes	
B	Plásticos y productos petroquímicos	
C	Poliésteres	máx. 20000
	Agentes plastificantes	máx. 30000
	PVC	70000-90000
D	EPS (poliestireno expandido)	40000
E	Látex SB	17000

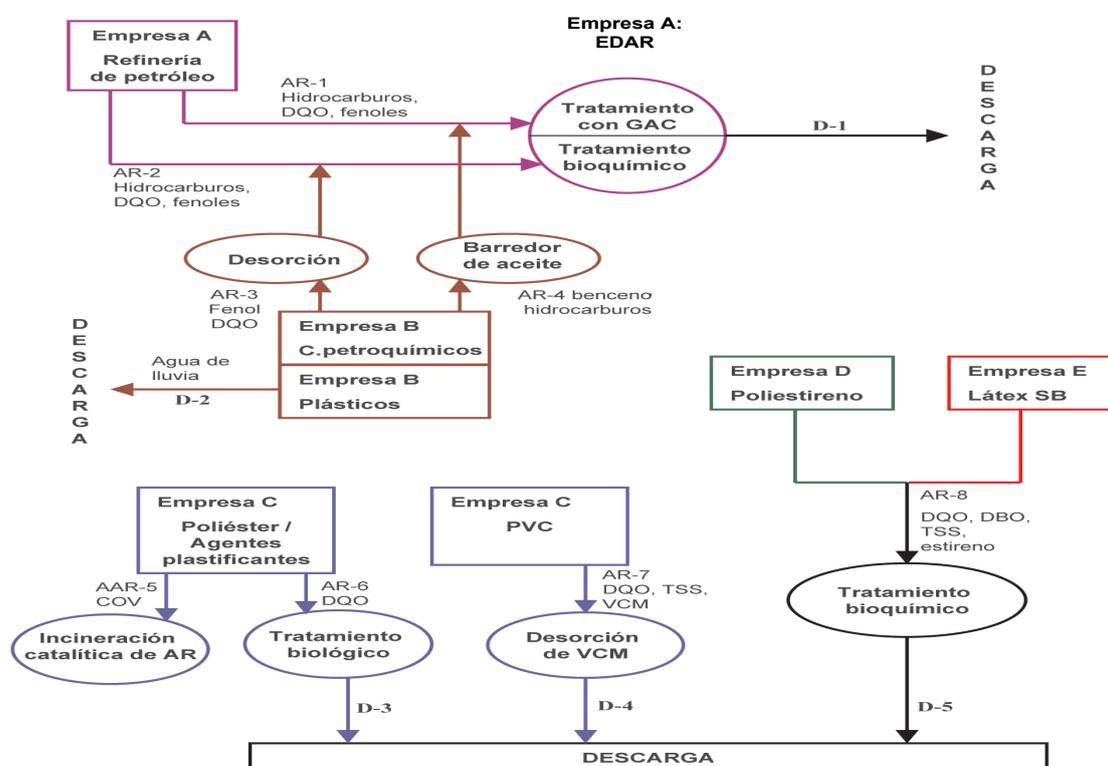
Todas las empresas han establecido o están estableciendo sistemas de gestión ambiental estandarizados según la norma ISO 14001.

La situación se ilustra en la Figura 7.5

La Tabla 7.2 detalla información sobre caudales de aguas residuales y técnicas y eficacias de tratamiento.

**Tabla 7.2,**  
**Caudales de aguas residuales y detalles sobre tratamiento en un centro de producción química complejo**  
**(Ejemplo XXI)**

Corriente de agua residual	Técnicas de tratamiento	Cantidad de agua residual [m <sup>3</sup> /h]	Concentración de entrada [mg/l]	Concentración de salida [mg/l]	Indice de eficacia [%]
WW-1 + WW-4	Tratamiento GAC, regeneración, pretratamiento por API, filtro de arena	10000	DQO: 300-400 fenoles: 5	DQO: <100 fenoles: 1-2	DQO: 67-75 fenoles: 60-80
WW-2 + WW-3	Tratamiento bioquímico, tratamiento de lodo subsiguiente, incineración; pretratamiento por desorción, varios API, floculación, flotación	2000	DQO: 500-900 fenoles: 30	DQO: <100 fenoles: 0,02-0,04	DQO: 80-89 fenoles: >99,8
D-1		12000		DQO: <100 fenoles: 1-2	
WW-6 (D-3)	Tratamiento bioquímico	88	DQO: 870	DQO: 118	DQO: 86,5
WW-7 (D-4)	Desorción	16-20	VCM: 100-200	VCM: 0.20	VCM: >98
WW-8 (D-5)	Sedimentación, floculación, precipitación, tratamiento biológico aeróbico, sedimentación como clarificación final	240			DQO: 99,1 DBO <sub>7</sub> : 98,8 TSS: 99,7 Estireno: 99,3 Fósforo: 98,4



**Figura 7.5. Situación de producción en un centro de producción complejo (Ejemplo XXI)**



### 7.6.4. Ejemplos de descargas de metales pesados

[cww/tm/160]

La siguiente Tabla 7.3 contiene las concentraciones de metales pesados de 23 descargas de aguas residuales. Los valores dados son medias anuales de muestras mixtas de 24 horas; entre paréntesis se indican los valores más elevados encontrados: Las concentraciones se alcanzan en el punto de descarga final, después del tratamiento en origen, sin dilución con agua de lluvia o agua de refrigeración. Dependen del porcentaje de metales pesados en la mezcla total de aguas residuales.

**Tabla 7.3.**  
**Niveles de emisión de metales pesados en el punto de descarga final**  
[cww/tm/160]

(Planta N°) Caracterización	Hg [µg/l] [máximo]	Cr [µg/l] [máximo]	Ni [µg/l] [máximo]	Zn [µg/l] [máximo]	Cu [µg/l] [máximo]	Cd [µg/l] [máximo]	Pb [µg/l] [máximo]	As [µg/l] [máximo]
(1) sin tratamiento biológico central	0,32 [1,96]	-	- [20]	4 [27]	-	0,057 [0,4]	- [7]	- [1]
(2) sin tratamiento biológico central	1,01 [2,82]	- [10]	30 [180]	54 [230]	50 [100]	0,395 [1,2]	- [32]	4 [28]
(3) sin tratamiento biológico central	0,23 [0,7]	- [40]	60 [180]	145 [470]	20 [180]	0,276 [3,8]	-	-
(4) sin tratamiento biológico central	0,50 [3,6]	- [60]	-	158 [540]	-	-	100 [100]	-
(5) sin tratamiento biológico central	0,84 [2,95]	- [20]	10 [20]	-	-	-	-	-
(6) sin tratamiento biológico central	0,10 [0,3]	-	40 [60]	-	-	0,2 [0,6]	- [6]	-
(7) sin tratamiento biológico central	-	-	- [20]	74 [380]	30 [180]	0,083 [1,0]	10 [36]	-
(8) sin tratamiento biológico central	-	30 [120]	80 [190]	174 [490]	60 [280]	0,833 [8,2]	10 [16]	-
(9) tratamiento biológico central	0,01 [0,2]	-	-	5 [70]	-	-	- [7]	-
(10) tratamiento biológico central	- [0,2]	- [20]	10 [40]	61 [190]	20 [50]	0,023 [1,0]	- [12]	-
(11) tratamiento biológico central	-	- [20]	- [10]	30 [70]	- [20]	-	- [38]	-
(12) sin tratamiento biológico central	0,02 [0,35]	10 [60]	10 [90]	111 [230]	20 [90]	0,031 [0,8]	20 [110]	-
(13) tratamiento biológico central	0,11 [2,3]	- [10]	20 [95]	18 [40]	10 [20]	0,042 [0,3]	- [18]	3 [9]
(14) tratamiento biológico central	- [0,1]	-	- [8]	4 [20]	- [50]	0,012 [0,1]	- [10]	-
(15) tratamiento biológico central	0,01 [0,1]	20 [50]	50 [85]	117 [360]	30 [70]	0,212 [1,3]	- [16]	-

(Planta N°) Caracterización	Hg [µg/l] [máximo]	Cr [µg/l] [máximo]	Ni [µg/l] [máximo]	Zn [µg/l] [máximo]	Cu [µg/l] [máximo]	Cd [µg/l] [máximo]	Pb [µg/l] [máximo]	As [µg/l] [máximo]
(16) tratamiento biológico central	- [0,1]	- [5]	- [13]	13 [390]	- [30]	0,006 [0,1]	- [10]	- [1]
(17) tratamiento biológico central	0,09 [1,3]	-	- [13]	-	20 [70]	0,018 [0,3]	- [7]	-
(18) tratamiento biológico central	0,01 [0,1]	-	-	-	-	0,16 [0,8]	-	-
(19) tratamiento biológico central	0,45 [1,2]	-	-	64 [150]	-	-	-	-
(20) tratamiento biológico central	0,49 [1,6]	-	-	4 [29]	-	0,064 [1,61]	- [7]	-
(21) tratamiento biológico central	0,05 [0,3]	-	50 [130]	23 [60]	- [20]	0,017 [0,4]	-	-
(22) tratamiento biológico central	-	-	10 [30]	613 [1350]	- [50]	0,106 [0,6]	10 [34]	-
(23) tratamiento biológico central	<0,17	2,7	34	39	38	<0,3	<2,6	

### 7.6.5. Ejemplo de plantas de tratamiento de gases residuales

#### Ejemplo 1

Gas residual de proceso de un complejo químico con varias empresas que comparten equipo conjunto.

Gas residual	Método de tratamiento	Descarga [mg/Nm³]	Reducción [%]
Incineración de lodo de PTAR biológica	PE y lavador de gas húmedo	SO <sub>2</sub> : 500 CO: 250 HCl: 1	
Gas de proceso de producción de fenol	Incineración	Hydrocarburos: 14-15	Hydrocarburos: 99,5
Emisiones fugitivas de producción de hidrocarburos aromáticos	Incineración	Hydrocarburos: 5-6	Hydrocarburos: aprox. 99
Gas de proceso de producción de PVC	Adsorción con GAC	VC monómero: 0-5	
Empresa X (producción de látex)	Destrucción térmica		95
Gas de proceso de producción de poliestireno	Destrucción térmica	COV: 25	COV aprox. 95

Producción:

- Plásticos y compuestos petroquímicos
- Productos de petróleo y lubricantes
- Poliéster
- Agentes plastificantes
- PVC
- Látex SB
- Poliestireno expandido.

Ejemplo 2

Tratamiento de gas residual de incineración.

El sistema de tratamiento consiste en:

- Lavador venturi con solución alcalina para eliminar HCl, algunos compuestos gaseosos y parte de los sólidos. La solución ácida del lavador se neutraliza con cal, los sólidos se eliminan de la solución con aditivos y se desechan en vertedero.
- Lavador de flujo radial para eliminar SO<sub>2</sub> con álcali o solución / suspensión de cal
- ESP húmedo, los residuos sólidos son desechados en vertedero.

Los niveles de emisión son:

Partículas: 2-12 mg/Nm<sup>3</sup>  
 SO<sub>2</sub>: 58-84 mg/Nm<sup>3</sup>  
 CO: 2-55 mg/Nm<sup>3</sup>  
 HCl: 7-22 mg/Nm<sup>3</sup>  
 Dioxinas: 0,007-0,02 ng/Nm<sup>3</sup> TEQ

Ejemplo 3

RCS de alta eficacia para controlar el elevado contenido inicial de NO<sub>x</sub> .  
 [Comentarios de Francia al Borrador 2]

Producción	Arena abrasiva de alto rendimiento para la fabricación de muelas abrasivas y papel de lija.
Proceso de producción	Proceso Norton SG que utiliza ácido nítrico y emite gas residual nitroso de alta concentración
Condiciones:	Corriente de gas residual 800 Nm <sup>3</sup> /h, Concentración de NO <sub>x</sub> 10000 ppm
Eliminación de NO <sub>x</sub> escogida	Proceso de RCS
Proceso de eliminación alternativo	Lavado con peróxido / agua, conversión de NO <sub>x</sub> a ácido nítrico
Motivos de la decisión a favor de la RCS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los costes de inversión y operativos de la RCS parecen ser razonables.</li> <li>• No hay más efluentes contaminantes.</li> <li>• La operación y el mantenimiento de la RCS son fáciles.</li> </ul>
Proceso de eliminación	El gas (70-90 °C) se diluye primero para reducir la concentración de NO <sub>x</sub> a menos de 5000 ppm. La mezcla se calienta a unos 240 °C, y se rocía sobre la misma la cantidad estequiométrica de NH <sub>3</sub> (NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> hasta 1,24) en forma de solución de amoníaco al 25 %. La mezcla se pasa inmediatamente a través del lecho de gránulos de catalizador. Por último, el gas residual se diluye de nuevo con aire en un factor de >10 (reducción de la concentración de NO <sub>x</sub> desde 200 mg/Nm <sup>3</sup> a 20 mg/Nm <sup>3</sup> ) para eliminar el óxido que pueda colorear el gas de combustión.

Datos de eficacia	
Temperatura del catalizador corriente arriba:	215-225 °C
Concentración de NO <sub>x</sub> después del catalizador	1240-1450 ppm
Concentración de NO <sub>x</sub> después de dilución:	50-100 ppm
Relación NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> (mol/mol):	1,17-1,24
Fuga de NH <sub>3</sub> :	hasta 15 mg/Nm <sup>3</sup>
Conversión de NO <sub>x</sub> :	93,1-96,2 %

Costes	
Costes de inversión	2,4 millones FFR
Equipo e ingeniería civil	1,755 millones FFR
diseño	0,645 millones FFR]
Costes operativos anuales	2176 FFR/t NO <sub>x</sub> convertido
Coste global	5182 FFR/t NO <sub>x</sub> eliminado

## 7.7. Anexo VII. Legislación de los Estados Miembros sobre aguas y gases residuales en el sector químico

El Anexo VII cubre los límites de emisión para el sector químico para aguas y gases residuales en los Estados Miembros. Nótese que puede haber criterios distintos para las diferentes cifras por lo que respecta a tiempo de promedio, condiciones de referencia, técnicas de muestreo, medición y análisis y método de verificación de cumplimiento.

### 1. AUSTRIA

#### Emisiones a la atmósfera

Austria no tiene ninguna legislación especial sobre estándares de emisión atmosférica para la industria química. En general, la "Gewerbeordnung" (BGBl. 194/1994) regula la concesión de permisos de plantas químicas y requiere que las plantas utilicen tecnología avanzada en su funcionamiento. Los estándares de emisión para emisiones atmosféricas de plantas químicas están por lo general basadas en las "Instrucciones Técnicas sobre Calidad del Aire" (TA Luft) alemanas.

Las plantas de combustión son reguladas por la "Feuerungsanlagenverordnung" (BGBl. II 1997/331), excepto las calderas de vapor, incluidas calderas de recuperación, dispositivos de postcombustión de gases de escape, turbinas de gas y motores de combustión.

Los estándares de emisión para plantas de calderas son regulados por la "Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen" (BGBl. 1988/380 i.d.F. BGBl. 1993/185, BGBl. I 1997/115, BGBl. I 1998/158) y la "Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen" (BGBl. 1989/19 i.d.F. BGBl. 1990/134, BGBl. 1994/785, BGBl. II 1997/324).

- **Feuerungsanlagenverordnung (Orden para instalaciones de combustión) (BGBl. II 1997/331)**  
La "Feuerungsanlagenverordnung" regula las emisiones de plantas de combustión con una potencia térmica nominal de 50 kW o más. Esta orden se basa en el § 82 Abs. 1 de la Gewerbeordnung. Como se ha indicado anteriormente las calderas de vapor, incluidas las calderas de recuperación, los dispositivos de postcombustión de gases de escape, las turbinas de gas, los motores de combustión y las plantas que usan residuos como combustible no están regulados por esta orden.

La "Feuerungsanlagenverordnung" proporciona distintos estándares de emisión, según el combustible usado y la potencia térmica. Los estándares de emisión para plantas con combustión de hulla y coque, hornos a fuel-oil y plantas de combustión para combustibles gaseosos se presentan en la siguiente sección.

#### a) Plantas de hulla y coque

Estándares de emisión para hornos que utilizan hulla o coque							
Contaminantes		Capacidad <sup>a</sup> [MW]					
		≤0,35	>0,35-1	>1-2	>2-10	>10-50	>50
Polvo	[mg/m <sup>3</sup> ]	150	150	150	50	50	50
SO <sub>2</sub>	[mg/m <sup>3</sup> ]	-	-	-	-	400	200
CO	[mg/m <sup>3</sup> ]	1000	1000	150	150	150	150
NO <sub>x</sub>	[mg/m <sup>3</sup> ]	-	400	400	400	350	100

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor agregada por hora en relación al valor calorífico del combustible. Los estándares de emisión están referidos a gas de escape seco a 0 °C, presión de 1013 kPa y contenido de oxígeno del 6 %.

#### b) Plantas a base de fuel-oil

En Austria hay cuatro tipos de gasóleos para calefacción. El contenido de azufre de los distintos tipos de fuel-oil de calefacción se define en la orden "Verordnung über den Schwefelgehalt von Heizölen" (BGBl. 1989/94 i.d.F. BGBl. 1994/545). La tabla siguiente presenta el máximo contenido de azufre del gasóleo de calefacción en Austria.

Máximo contenido de azufre de distintos tipos de fuel-oil de calefacción	
Tipo de fuel-oil	Máximo contenido de azufre
Fuel-oil superligero	0,10 % en peso
Fuel-oil ligero	0,20 % en peso
Fuel-oil medio	0,60 % en peso
Fuel-oil pesado	1,00 % en peso

Para las instalaciones de combustión de menor tamaño hay restricciones con respecto a la calidad del fuel-oil a combustionar. Los gasóleos con mayor contenido de azufre pueden usarse en una instalación con una menor potencia nominal si se garantizan los niveles de emisión de SO<sub>2</sub> de la tabla siguiente por otras medidas.

Capacidades de potencia para el uso de distintos tipos de fuel-oil de calefacción	
Capacidad <sup>a</sup>	Fuel-oil permitido
≤0,07 MW	Superligero
>0,07–5 MW	Superligero Ligero
5–10 MW	Superligero Ligero Medio
>10 MW	Todos los tipos de fuel-oil

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible.

Algunos de los estándares de emisión son distintos para los distintos tipos de fuel-oil de calefacción. Las siguientes cuatro tablas presentan los estándares de emisión para polvo, SO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub> en plantas de combustión de fuel-oil.

Estándares de emisión de polvo [mg/Nm <sup>3</sup> ] al utilizar gasóleos de calefacción como combustible			
Combustible	Capacidad <sup>a</sup> [MW]		
	>2–30 MW	>30–50 MW	>50 MW
Fuel-oil superligero	30	30	30
Fuel-oil ligero	50	35	35
Fuel-oil medio	60	50	35
Fuel-oil pesado	60	50	35

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible. Los estándares de emisión para combustibles líquidos están referidos a gas de escape seco a 0 °C, una presión de 101,3 kPa y un contenido de oxígeno del 3 % en el gas de escape.

Los estándares de emisión de SO<sub>2</sub> y CO están relacionados con la potencia térmica de las plantas de combustión.

Estándares de emisión de SO <sub>2</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ] usando fuel-oil como combustible		
Contaminante	Capacidad <sup>a</sup> [MW]	
	>50–300 MW	>300 MW
SO <sub>2</sub>	350	200

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible. Los estándares de emisión para combustibles líquidos están referidos a gas de escape seco a 0 °C, una presión de 101,3 kPa y un contenido de oxígeno del 3 % en el gas de escape.

Estándares de emisión de CO [mg/Nm <sup>3</sup> ] usando fuel-oil como combustible		
Contaminante	Capacidad <sup>a</sup> [MW]	
	≤1 MW	>1 MW
CO	100	80

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible. Los estándares de emisión para combustibles líquidos están referidos a gas de escape seco a 0 °C, una presión de 101,3 kPa y un contenido de oxígeno del 3 % en el gas de escape

Para NO<sub>x</sub>, se distinguen distintos estándares de emisión para diferentes tipos de fuel-oil de calefacción. De nuevo, la potencia térmica es un criterio adicional para el estándar de emisión. La tabla siguiente muestra los distintos estándares de emisión de NO<sub>x</sub>.

Estándares de emisión de NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ] usando fuel-oil como combustible				
Combustible	Capacidad <sup>a</sup> [MW]			
	≤3 MW	>3–10 MW	>10–50 MW	>50 MW
Fuel-oil superligero	150	150	150	100
Fuel-oil ligero	450	400	350	100
Fuel-oil medio	450	450	350	100
Fuel-oil pesado	450	450	350	100

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible. Los estándares de emisión para combustibles líquidos están referidos a gas de escape seco a 0 °C, una presión de 101,3 kPa y un contenido de oxígeno del 3 % en el gas de escape.

c) Plantas con combustión a gas

Para plantas que utilizan combustibles gaseosos (gas natural o gas de petróleo licuado), la “Feuerungsanlagenverordnung” sólo establece estándares de emisión para NO<sub>x</sub> y CO.

Estándares de emisión para combustibles gaseosos			
Contaminante	Combustible	Capacidad <sup>a</sup> [MW]	
		≤3 MW	>3 MW
CO [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Gas natural	80	80
	Gas de petróleo licuado	80	80
NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Gas natural	120	100
	Gas de petróleo licuado	160	130

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible. Los estándares de emisión para combustibles líquidos están referidos a gas de escape seco a 0 °C, una presión de 101,3 kPa y un contenido de oxígeno del 3 % en el gas de escape.

Para plantas de combustión con altas temperaturas de proceso se permiten mayores emisiones de NO<sub>x</sub>. Se permite usar gas natural con 200 mg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> y gas de petróleo licuado con un máximo de 260 mg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>.

El requisito de mediciones continuas de los distintos contaminantes depende del tipo de combustible y de la capacidad de la planta.

Umbral por encima de los cuales se requiere medición continua				
Combustible	Contaminante			
	Polvo	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Sólido	>10 MW	>10 MW	>30 MW	>30 MW
Líquido	>10 MW	>10 MW	>50 MW	>30 MW
Gaseoso	-	>10 MW	-	>30 MW

Esta orden entró en vigor el 1.6.1998. Las plantas de combustión que fueron mejoradas antes de dicha fecha deben cumplir los valores de emisión de esta orden en un plazo de cinco años o, si no superan estos valores en más del 50%, deben cumplir los límites de emisión en un plazo de ocho años.

- Luftreinhaltegesetz and Luftreinhalteverordnung für Kesselanlage (Ley para un Aire Limpio y Orden de Aire Limpio para Calderas de Vapor) (LRG-K y LRV-K).  
En Austria, las emisiones de plantas de calderas de vapor y calderas de recuperación están reguladas por la “Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen” (BGBl. 1988/380 i.d.F. BGBl. 1993/185, BGBl. I 1997/115, BGBl. I 1998/158) y la orden “Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen” (BGBl. 1989/19 i.d.F. BGBl. 1990/134, BGBl. 1994/785, BGBl. II 1997/324). Los estándares de emisión para polvo, SO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub> debidas a “Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen” dependen del tipo de combustible y de la potencia térmica de las plantas.

Estándares de emisión de polvo [mg/Nm <sup>3</sup> ]				
Combustible	Capacidad <sup>a</sup> [MW]			
	<2 MW	2–30 MW	30–50 MW	>50 MW
Combustibles sólidos <sup>b</sup>	150	50		
Combustibles gaseosos	-	5	5	5
Fuel-oil superligero	-	30	30	30
Fuel-oil ligero	-	50	35	35
Fuel-oil medio	-	60	50	35
Fuel-oil pesado	-	60	50	35

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible.  
<sup>b</sup> Se excluye la madera.

Estándares de emisión de SO <sub>2</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]			
Combustible	Capacidad <sup>a</sup> [MW]		
	10–50 MW	50–300 MW	>300 MW
Lignito	400	400	400
Otros combustibles sólidos	400	200	200
Combustibles líquidos	1700	350	200

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible.

Estándares de emisión de CO [mg/Nm <sup>3</sup> ]		
Combustible	Capacidad <sup>a</sup> [MW]	
	≤1MW	>1MW
Combustibles sólidos	1000	150
Combustibles líquidos	100	80
Gas de petróleo licuado	100	
Gas natural	80	

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible.

Estándares de emisión de NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]				
Combustible	Capacidad <sup>a</sup> [MW]			
	0,35–3 MW	3–10 MW	10–50 MW	>50 MW
Combustibles sólidos	400		350	200
Combustibles gaseosos	125	100		
Fuel-oil superligero	150			
Fuel-oil ligero	400	400	350	100
Fuel-oil medio	450		350	100
Fuel-oil pesado	450		350	100

<sup>a</sup> La capacidad se define como la media de la cantidad de calor añadida por hora en relación con el valor calorífico del combustible.  
Los estándares de emisión para combustibles sólidos están referidos a un 6 % de oxígeno en el gas de escape. Para combustibles líquidos y gaseosos, están referidos a un 3 % de oxígeno. Todos los valores de emisión están referidos a gas de escape seco a 0 °C, una presión de 101,3 kPa.

### Emisiones al agua

La descarga de aguas residuales en aguas superficiales o sistemas de alcantarillado público en Austria está regulada por la orden “Allgemeine Abwasseremissionsverordnung” (Orden General sobre Evacuaciones de Aguas Residuales) (BGBl. 1996/186) y órdenes especiales para distintos sectores industriales. Las órdenes están basadas en la ley austriaca “Wasserrechtsgesetz” (Ley sobre derechos del agua) (BGBl. I 155/1999). Las órdenes especiales que son de interés para plantas que contienen compuestos químicos orgánicos son:

- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von Kohlenwasserstoffen und organischen Grundchemikalien BGBl. II 1999/7 (Orden para la limitación de emisiones de aguas residuales de la producción de hidrocarburos y compuestos orgánicos de base).
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Erdölverarbeitung BGBl. II 1997/344 (Orden para la limitación de emisiones de aguas residuales del refino de petróleo).
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von technischen Gasen BGBl. 1996/670 (Orden para la limitación de emisiones de aguas residuales de la producción de gases industriales).
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von anorganischen Düngemitteln sowie von Phosphorsäure und deren Salzen BGBl. 1996/669 (Orden para la limitación de emisiones de aguas residuales de la producción de fertilizantes inorgánicos o de ácido fosfórico y sus sales).

#### o Hidrocarburos y compuestos orgánicos de base

La orden para la limitación de las emisiones de aguas residuales de la producción de hidrocarburos y compuestos orgánicos de base regula los estándares de emisión para la producción de hidrocarburos y compuestos orgánicos de base. Esta orden entró en vigor el 13 de enero de 2000. Las plantas que hayan sido aprobadas antes de esa fecha deben cumplir estos requisitos en el plazo de seis años. Esta orden regula:

- i. Almacenaje de productos del proceso de petróleo crudo y fracciones de petróleo crudo, que se utilizan en los procesos de producción de los puntos ii a vi.
- ii. Producción de alquenos, alquinos y compuestos aromáticos a partir de productos de proceso de petróleo crudo y fracciones de petróleo crudo por craqueo, utilizando vapor adicional (cracking al vapor).
- iii. Producción de hidrocarburos químicamente puros o mezclas de los mismos a partir de productos de craqueo del punto ii, utilizando procesos físicos de separación.
- iv. Producción de compuestos orgánicos de base a partir de productos del punto ii o iii mediante alquilación, desalquilación, deshidrogenación, desproporcionamiento, hidratación, hidroxilación, hidrodeshalquilación, hidrogenación, isomerización, oxidación o eterificación.
- v. Producción de compuestos orgánicos de base nitrogenados a partir de hidrocarburos del punto ii o iii o de sustancias del punto iv (ej.: amidas, aminas, cianatos, isocianatos, lactamas, nitrilos, compuestos nitrogenados, nitrosos o con nitratos, compuestos aromáticos nitrogenados).
- vi. Producción de compuestos orgánicos de base sulfurados o fosforados a partir de hidrocarburos del punto ii o iii o de sustancias del punto iv.
- vii. Producción de compuestos orgánicos de base halogenados a partir de hidrocarburos del punto ii o iii o de sustancias del punto iv.
- viii. Almacenaje de productos de los puntos ii a vii.
- ix. Limpieza de aire de extracción y condensados acuosos de acciones incluidas en los puntos i a viii.
- x. Limpieza de gases de combustión de acciones de los puntos i a viii con el uso de sustancias acuosas si se realizan simultáneamente procesos físicos o reacciones químicas con la finalidad de realizar una síntesis o producción, o si el gas de combustión se mezcla con otro gas residual y la composición del gas de escape residual es significativamente distinta en comparación con la composición del gas de combustión.

<b>Estándares de emisión para la producción de hidrocarburos</b>		
<b>Parámetros generales</b>	<b>Estándares para descarga en aguas corrientes</b>	<b>Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público</b>
Temperatura	30 °C	40 °C
T <sub>A</sub>	8	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
T <sub>L</sub>	4	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
T <sub>D</sub>	4	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
T <sub>F</sub>	2	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
SST	30 mg/l	150 mg/l
pH	6,5 – 8,5	6,5 – 10
<b>Parámetros inorgánicos</b>	<b>Estándares para descarga en aguas corrientes</b>	<b>Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público</b>
Aluminio (calculado como Al)	2 mg/l	Limitado por el estándar de TSS
Plomo (calculado como Pb)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Hierro (calculado como Fe)	3,0 mg/l	Limitado por el estándar de TSS
Cobre (calculado como Cu)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Níquel (calculado como Ni)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Mercurio (calculado como Hg)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Zinc (calculado como Zn)	1 mg/l	1 mg/l
Estaño (calculado como Sn)	1 mg/l	1 mg/l
Amonio (calculado como N)	5 mg/l	
Cloro (calculado como Cl)	Limitado por los estándares de toxicidad	
Cianuro (fácil emisión y calculado como CN)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
Fluoruro (calculado como F)	30 mg/l	30 mg/l
Nitrógeno combinado total (incluido nitrógeno en amonio, nitritos y nitratos)	40 mg/l	-
Fósforo total (calculado as P)	2 mg/l	-
Sulfato (calculado como SO <sub>4</sub> )	-	200 mg/l
Sulfuro (fácil emisión y calculado como S)	0,5 mg/l	1 mg/l
<b>Parámetros orgánicos</b>	<b>Estándares para descarga en aguas superficiales</b>	<b>Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público</b>
COT (calculado como C)	25 mg/l	-
DQO (calculada como O <sub>2</sub> )	75 mg/l	-
DBO <sub>5</sub> (calculada como O <sub>2</sub> )	20 mg/l	-
AOX (calculados como Cl)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Suma de hidrocarburos	5 mg/l	20 mg/l
POX (calculados como Cl)	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Índice fenólico (calculado como fenol)	0,2 mg/l	20 mg/l
Suma de tensioactivos aniónicos y no iónicos	2 mg/l	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
Suma de comp. aromáticos volátiles (BTXE)	0,1 mg/l	1 mg/l

Para cumplir los límites de emisión, cuatro de cinco valores medidos sucesivos deben ser inferiores al límite de emisión, y sólo un valor medido puede superar el límite de emisión (máximo un 50% del límite de emisión). La mayoría de los parámetros deben determinarse mediante muestras medias diarias homogéneas y proporcionales. Los parámetros de temperatura, materia filtrable, valor del pH, cianuros, sulfuros, POX y la suma de compuestos aromáticos volátiles (BTXE) deben determinarse mediante muestras aleatorias.

Las aguas residuales de la producción de las siguientes sustancias deben observar los siguientes límites de emisión especiales. Los límites de emisión específicos de producción están referidos a la capacidad de producción instalada en toneladas.

Límites de emisión para la producción de diversas sustancias orgánicas			
Sustancia		Estándar de emisión	
		[mg/l]	[g/tonelada de capacidad de producción instalada]
1.	Etilbenceno, cumeno	1,0	20
2.	Acetaldehído, acetato de vinilo	1,0	30
3.	Cloruro de vinilo (VC)	1,0	2
4.	Triclorofenoles (TCP, todos los isómeros)	1,0	20
5.	Triclorobencenos (TCB, todos los isómeros)	0,2	2
6.	Tetraclorometano	1,5	3
7.	Hexaclorobutadieno (HCBD)	1,5	2
8.	1,2-dicloroetano (EDC)	1,0	2
9.	Tricloroetano (TRI)	1,0	3
10.	Percloroetano (PER)	1,0	3
11.	Disolventes orgánicos halogenados excepto: 1,2,4-triclorobenceno y los nº 6 – 11	1,0	10

Para cumplir los límites de emisión, cuatro de cinco valores medidos sucesivos deben ser inferiores al límite de emisión, y sólo un valor medido puede superar el límite de emisión (máximo un 50% del límite de emisión). La mayoría de los parámetros deben determinarse mediante muestras medias diarias homogéneas y proporcionales. Los parámetros de temperatura, materia filtrable, valor del pH, cianuros, sulfuros, POX y la suma de compuestos aromáticos volátiles (BTXE) deben determinarse mediante muestras aleatorias.

Para la producción de acetileno con carburo cálcico como materia prima, los límites de emisión se establecen en la “Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von technischen Gasen” (BGBl. 1996/670). Todas las plantas de acetileno de Austria utilizan procesos de carburo cálcico para la producción de acetileno.

Estándares de emisión para producción de acetileno a partir de carburo cálcico		
Parámetros generales	Estándares para descarga en aguas corrientes	Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público
Temperatura	35 °C	40 °C
T <sub>L</sub>	4	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
T <sub>F</sub>	2	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
TSS	50 mg/l	Sin problemas para el sistema de alcantarillado público o planta de tratamiento de aguas residuales
pH	6,5 – 9	6,5 – 10
Parámetros inorgánicos	Estándares para descarga en aguas corrientes	Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público
Hierro (calculado como Fe)	2 mg/l	Limitado con el estándar para TSS
Amonio (calculado como N)	10 mg/l	-
Cianuros (fácil emisión y calculados como CN)	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Total fósforo (calculado como P)	1 mg/l	-
Sulfatos (calculados como SO <sub>4</sub> )	-	200 mg/l
Sulfuros (calculados como S)	0,1 mg/l	1 mg/l
Sulfuros (calculados como SO <sub>3</sub> )	1 mg/l	10 mg/l
Parámetros orgánicos	Estándares para descarga en aguas corrientes	Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público
DQO (calculada como O <sub>2</sub> )	50 mg/l	-
Suma de hidrocarburos	10 mg/l	20 mg/l
Índice fenólico (calculado como fenol)	0, 1 mg/l	10 mg/l

Para cumplir los límites de emisión, cuatro de cinco valores medidos sucesivos deben ser inferiores al límite de emisión, y sólo un valor medido puede superar el límite de emisión (máximo un 50% del límite de emisión). La mayoría de los parámetros deben determinarse mediante muestras medias diarias homogéneas y proporcionales. Los parámetros de temperatura, materia filtrable, valor del pH, cianuros y sulfuros deben determinarse mediante muestras aleatorias.

La orden “Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von anorganischen Düngemitteln sowie von Phosphorsäure und deren Salzen “ (BGBl. 1996/669) regula los estándares de emisión para la descarga de aguas residuales de la producción de melamina y urea.

<b>Estándares de emisión de aguas residuales de producción de urea y melamina</b>		
<b>Parámetros generales</b>	<b>Estándares para descarga en aguas corrientes</b>	<b>Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público</b>
Temperatura	30 °C	35 °C
T <sub>F</sub>	4	Sin problemas para la planta pública de tratamiento de aguas residuales
SST	30 mg/l	150 mg/l
pH	6,5–8,5	6,5–9,5
<b>Parámetros inorgánicos</b>	<b>Estándares para descarga en aguas corrientes</b>	<b>Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público</b>
Amonio (calculado como N)	0,5 kg/t	0,5 kg/t
Nitratos (calculados como N)	0,5 kg/t	0,5 kg/t
Nitritos (calculados como N)	0,02 kg/t	0,02 kg/t
<b>Parámetros orgánicos</b>	<b>Estándares para descarga en aguas corrientes</b>	<b>Estándares para descarga al sistema de alcantarillado público</b>
DQO (calculada como O <sub>2</sub> )	0,5 kg/t	-

Los estándares de producción están referidos a la capacidad de producción instalada de la planta (referidos a una tonelada de nitrógeno en el producto final).

Para cumplir los límites de emisión, cuatro de cinco valores medidos sucesivos deben ser inferiores al límite de emisión, y sólo un valor medido puede superar el límite de emisión (máximo un 50% del límite de emisión). La mayoría de los parámetros deben determinarse mediante muestras medias diarias homogéneas y proporcionales. Los parámetros de temperatura, materia filtrable, valor del pH y nitritos deben determinarse mediante muestras aleatorias.

## 2. BELGICA

### Legislación flamenca sobre aguas y gases residuales en el sector químico

En la legislación medioambiental flamenca, **VLAREM**, el sector químico se clasifica en distintas subsecciones:

- Clasificación nº 7 “Compuestos Químicos” (ver Anexo 1)
- Clasificación nº 17 “Sustancias Peligrosas” (ver Anexo 2)
- Clasificación nº 20.4 “Industria Química, actividades industriales sujetas a 84/360/CEE” (ver Anexo 3)

Las plantas químicas están sujetas a alguna legislación específica para el sector que puede diferir de la legislación medioambiental general especificada en la VLAREM:

- Vlarem II, Hoofdstuk 5.7 “Compuestos Químicos” (Clasificación nº 7) (ver Anexo 4)
- Vlarem II, Hoofdstuk 5.17 “Sustancias Peligrosas” (Clasificación nº 17) (ver Anexo 5)
- Vlarem II, Hoofdstuk 5.20 “Actividades industriales que pueden dar origen a contaminación atmosférica” (Clasificación nº 20) (ver Anexo 6)

Anexo 1

<b>7.</b>	<b>COMPUESTOS QUIMICOS (ver también secciones 17 y 20.4)</b>					
<b>7.1</b>	Establecimientos que no estén clasificados en otras partes, para la producción de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Alquilación</li> <li>o Aminación con amoníaco</li> <li>o Carbonilación</li> <li>o Condensación</li> <li>o Deshidrogenación</li> <li>o Esterificación</li> <li>o Halogenación y fabricación de halógenos</li> <li>o Hidrogenación</li> <li>o Hidrólisis</li> <li>o Oxidación</li> <li>o Polimerización</li> <li>o Desulfurización, síntesis y conversión de compuestos sulfurados</li> <li>o Nitración y síntesis de compuestos nitrogenados</li> <li>o Síntesis de compuestos fosforados</li> <li>o Destilación</li> <li>o Extracción</li> <li>o Solvatación</li> <li>o Mezcla</li> </ul> con una capacidad anual de:					
	1. hasta 1000 toneladas inclusive	3				
	2. de más de 1000 hasta 10000 toneladas inclusive	2	A,G			
	3. más de 10000 toneladas	1	G,M	A	P	J
<b>7.2</b>	Instalaciones químicas integradas, ej. para la fabricación a escala industrial de sustancias por conversión química, en la que coexisten distintas unidades interconectadas funcionalmente, cuya finalidad es la producción de: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compuestos orgánicos de base</li> <li>2. Compuestos inorgánicos de base</li> <li>3. Fertilizantes que contienen fosfatos, nitrógeno o potasio (abonos simples o compuestos)</li> <li>4. Productos básicos para la protección de cosechas y biocidas</li> <li>5. Productos farmacéuticos de base con un proceso químico o biológico.</li> <li>6. Explosivos.</li> </ol>	1	G,M	A	P	J
<b>7.3</b>	Complejos petroquímicos o fábricas basadas en ellos para el craqueo o vaporización de nafta, gasóleo, GPL u otros derivados del petróleo, así como química orgánica basada en los mismos que no esté clasificada en otra parte, con una capacidad de proceso de:					
	1. hasta 500000 toneladas al año inclusive	2	A			
	2. más de 500000 toneladas al año	1	M	A	P	J
<b>7.4</b>	Establecimientos para la preparación de uno de los siguientes productos:					
	a) Fenoles, disulfuros de carbono y mercaptanos, con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J
	b) aminas y compuestos orgánicos halogenados con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J
<b>7.5</b>	Producción de cloro por electrólisis y/o por el proceso de mercurio o de diafragma, con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J
<b>7.6</b>	Fabricación de peróxidos orgánicos e inorgánicos con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J

<b>7.</b>	<b>COMPUESTOS QUIMICOS (ver también secciones 17 y 20.4)</b>					
<b>7.7</b>	Producción de cloruro de hidrógeno y derivados, así como polímeros, aparte de los referidos en la sección 5, con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J
<b>7.8</b>	Producción de pentaclorofenol sódico por electrólisis de hexaclorobenceno, con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J
<b>7.9</b>	Producción de sosa comercial (carbonato sódico) como producto final y/o cloruro cálcico y/o sódico como subproducto, con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J
<b>7.10</b>	Producción de metilcelulosa por acción de cloruro de metilo sobre celulosa, con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2				
	2. más de 10 toneladas	1	G,M	A	P	J
<b>7.11</b>	Instalaciones químicas para la fabricación de: <sup>1,2</sup> :		G,M,X	A	P	J
	1. Productos químicos orgánicos de base, como:: a) hidrocarburos simples (lineales o cíclicos, saturados o insaturados, alifáticos o aromáticos). b) hidrocarburos oxigenados, como alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, acetatos, éteres, peróxidos, resinas epoxy. c) hidrocarburos sulfurados. d) hidrocarburos nitrogenados, como aminas, amidas, compuestos nitrosos, con grupos nitro y nitrato, nitrilos, cianatos, isocianatos. e) hidrocarburos fosforados. f) hidrocarburos halogenados. g) compuestos organometálicos. h) productos a base de plásticos (polímeros, fibras artificiales, fibras de celulosa). i) caucho sintético. j) colorantes y pigmentos. k) surfactantes y tensioactivos.	1	G,M,X	A	P	J
	2. Productos químicos inorgánicos de base, como: a) gases, como amoníaco, cloro o cloruro de hidrógeno, flúor o fluoruro de hidrógeno, óxidos de carbono, compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrógeno, dióxido de azufre, dicloruro de carbonilo. b) ácidos, como ácido crómico, fluoruro de hidrógeno, ácido fosfórico, ácido nítrico, cloruro de hidrógeno, ácido sulfúrico, óleum, ácido sulfuroso. c) bases, como hidróxido amónico, hidróxido potásico, hidróxido sódico. d) sales, como cloruro amónico, clorato potásico, carbonato potásico, carbonato sódico, perborato, nitrato de plata. e) no metales, óxidos de metales u otros compuestos inorgánicos, como carburo cálcico, silicio, carburo de silicio.	1	G,M,X	A	P	J
	3. Fertilizantes que contienen fosfato, nitrógeno o potasio (abonos simples o compuestos).	1	G,M,X	A	P	J
	4. Productos farmacéuticos de base que utilizan un proceso químico o biológico.	1	G,M,X	A	P	J
	5. Explosivos.	1	G,M,X	A	P	J

<sup>1</sup> Puede haber superposición con otras subsecciones de las secciones 7, 13 y 38

<sup>2</sup> Por fabricación, en el sentido de esta sección, se entiende la producción de las sustancias o grupos de sustancias a las que se hace referencia en esta sección a escala industrial por conversión química.

Anexo 2

<b>17</b>	<b>Productos peligrosos</b> <sup>1</sup> (descarga de aguas residuales que contengan una o más sustancias peligrosas incluidas en la lista 2C del Apéndice 2 al título I de la VLAREM: ver sección 3.5)					
<b>17.2</b>	Actividades industriales y depósitos de almacenaje con riesgo de accidentes importantes Directiva de la UE 96/82/CE de 9 de diciembre de 1996 relativa al control de los riesgos de accidentes importantes con sustancias peligrosas)					
<b>17.2.1</b>	Establecimientos en los que haya presentes productos peligrosos en cantidades iguales o superiores a la cantidad especificada en el Apéndice 6, partes 1 y 2, columna 2 anexo al título I de la VLAREM (ver Artículo 7 del título I de la VLAREM).	1	G	A	P	J
<b>17.2.2</b>	Establecimientos obligados por el decreto VR en los que haya productos peligrosos presentes en cantidades iguales o superiores a la cantidad especificada en el Apéndice 6, partes 1 y 2, columna 3, anexo al título I de la VLAREM (ver también Artículo 7 del título I de la VLAREM).	1	G	A	P	J
<b>17.3</b>	Establecimientos o depósitos de almacenaje para productos peligrosos no clasificados bajo 17.2 o 17.4 <sup>2,3</sup>					
<b>17.3.1</b>	Establecimientos para la producción industrial de sustancias muy tóxicas, tóxicas, extremadamente inflamables, explosivas o medioambientalmente peligrosas con una capacidad anual de:					
	1. hasta 10 toneladas inclusive	2			P	J
	2. más de 10 toneladas	1	G	A	P	J
<b>17.3.2</b>	Establecimientos para el almacenaje de sustancias muy tóxicas, tóxicas y explosivas con excepción de las referidas en la sección 48, con una capacidad de almacenaje de:					
	1. entre 10 kg y 100 kg inclusive	3				
	2. entre 100 kg y 1 tonelada inclusive	2				
	3. más de 1 tonelada	1	G	B	P	J
<b>17.3.3</b>	Depósitos de almacenaje para sustancias oxidantes, nocivas, corrosivas e irritantes, con excepción de las referidas en la sección 48, con una capacidad total de:					
	1. entre 200 kg y 1000 kg inclusive	3				
	2. entre 1000 kg y 50000 kg inclusive	2				
	3. más de 50000 kg	1	G	B	P	J
<b>17.3.4</b>	Depósitos de almacenaje para sustancias extremadamente inflamables y líquidos altamente inflamables, con excepción de las referidas en la sección 48, con una capacidad total de:					
	1. entre 50 l y 500 l inclusive	3				
	2. entre 500 l y 30000 l inclusive	2				
	3. más de 30000 l	1		B		
<b>17.3.5</b>	Depósitos de almacenaje para líquidos inflamables, con excepción de los referidos en la sección 48, con una capacidad total de:					
	1. entre 100 l y 5000 l inclusive	3				
	2. entre 5000 l y 100000 l inclusive	2				
	3. más de 100000 l	1		B		
<b>17.3.6</b>	Depósitos de almacenaje para líquidos con punto de inflamación por encima de 55 °C, aunque sin superar 100 °C, con excepción de los referidos en la sección 48, con una capacidad total de:					
	1a) entre 5000 l y 20000 l inclusive si el establecimiento está conectado con la función residencial de una propiedad que se utilice principalmente para fines residenciales.	3				
	1b) entre 100 l y 20000 l inclusive para establecimientos no incluidos en a)	3				
	2. entre 20000 l y 500000 l inclusive	2				
	3. más de 500000 l	1		B		
<b>17.3.7</b>	para líquidos con punto de inflamación por encima de 55 °C, aunque sin superar 100 °C, con excepción de los referidos en la sección 48, con una capacidad total de líquidos con punto de inflamación por encima de 100 °C, con excepción de los referidos en la sección 48, con una capacidad total de:					
	1. entre 200 l y 50000 l inclusive	3				
	2. entre 50000 l y 5000000 l inclusive	2				
	3. más de 5000000 l	1		B		

<b>17.3.8</b>	Depósitos de almacenaje para sustancias medioambientalmente peligrosas, con excepción de las referidas en la sección 48, con una capacidad total de:					
	1. entre 100 kg y 1 tonelada inclusive	3				
	2. entre 1 tonelada y 100 toneladas inclusive	2	G			
	3. más de 100 toneladas	1	G	A	E	J
<b>17.3.9</b>	Instalaciones de distribución de combustible para vehículos a motor, como instalaciones para el llenado de depósitos de combustible de vehículos a motor con hidrocarburos líquidos para la alimentación de los motores de los mismos.					
	1. Establecimientos para la distribución de los líquidos referidos en la sección 17.3.6.1° con un máximo de 1 conducto de distribución	3				
	2. Establecimientos para la distribución de: a) los combustibles referidos en la sección 17.3.6.2 con un máximo de 1 manguera de distribución y/o: b) los combustibles referidos en la sección 17.3.4.1 y 2 con un máximo de 1 manguera de distribución.	2				
	en los que sólo se abastezcan los vehículos propios de la empresa.	2				
3 Otros establecimientos	1		B			
<b>17.4</b>	Depósitos de almacenaje, con excepción de los referidos en la sección 48, y/o puntos de venta de las sustancias peligrosas referidas en el Apéndice 7 al título I de la VLAREM en envases con una capacidad máxima de 25 litros o 25 kilogramos, siempre que el almacenaje máximo esté entre 50 l y 5000 kg o 5000 l (Directiva CE 67/548/CEE, de 27 de junio 1967, relativa a la aplicación de las disposiciones legales y administrativas sobre la clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas).	3				
<b>17.5</b>	Dispositivos que contengan más de 5 dm <sup>3</sup> de PCB y dispositivos en los que pueda suponerse razonablemente que los líquidos contenidos tienen entre 0,05 y 0,005% en peso de PCB (Directiva CE 96/59/CE, de 16 de septiembre de 1996) <sup>4</sup>	3				

<sup>1</sup> Esta sección se refiere a sustancias sólidas y líquidas. Los gases están clasificados en la sección 16.

<sup>2</sup> Para la aplicación de esta sección, "productos peligrosos" se consideran las sustancias referidas en el Apéndice 7 al título I de la VLAREM.

<sup>3</sup> Para la aplicación de los criterios de clasificación de esta subsección, hay que tener en cuenta la propiedad principal y el punto de inflamación. Para combustibles líquidos, no obstante, sólo hay que tener en cuenta el punto de inflamación.

En este contexto, por "propiedad principal" se entiende la catalogación según la Directiva CE 67/548/CEE, de 27 de junio 1967 relativa a la aplicación de las disposiciones legales y administrativas sobre la clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, y la Directiva CE 88/379/CEE, de 7 de junio 1988, relativa a la clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos. Si un producto está etiquetado con dos o más símbolos de peligrosidad, deberá tenerse en cuenta el riesgo más relevante. Si el mismo no se halla especificado en la Directiva CE arriba mencionada, deberá seguirse la clasificación de la normativa ADR conforme al Real Decreto, de 16 de septiembre de 1991, relativo al transporte de sustancias peligrosas por carretera, con excepción de las sustancias explosivas y radiactivas identificadas por el Boletín Oficial del Estado de Bélgica de 18 de junio de 1997.

<sup>4</sup> Para condensadores eléctricos de gran potencia, el umbral es aplicable al total de los componentes separados de un dispositivo combinado.

**Anexo 3**

<b>20.4</b>	<b>Industria química (ver también sección 7):</b>					
<b>20.4.1</b>	Instalaciones químicas para la producción de olefinas, derivados de olefinas, monómeros y polímeros, no clasificadas en la sección 7.3					
	1. con una capacidad de producción hasta 10 toneladas anuales;	2				
	2. con una capacidad de producción de más de 10 toneladas anuales	1	G,M	A	P	J
<b>20.4.2</b>	Instalaciones químicas para la producción de productos orgánicos intermedios, no clasificadas en la sección 7:					
	1. con una capacidad de producción hasta 10 toneladas anuales;	2				
	2. con una capacidad de producción de más de 10 toneladas anuales	1	G,M	A	P	J
<b>20.4.3</b>	Instalaciones químicas para la producción de productos inorgánicos de base, no clasificadas en la sección 7:					
	1. con una capacidad de producción hasta 10 toneladas anuales;	2				
	2. con una capacidad de producción de más de 10 toneladas anuales	1	G,M	A	P	J
	(Instalaciones para el desecho de residuos tóxicos y peligrosos por incineración: ver sección 2.3.4)					
	(Instalaciones para el tratamiento de otros residuos sólidos y líquidos por incineración: ver sección 2.3.4)					

**Anexo 4**

**CAPITULO 5.7: COMPUESTOS QUIMICOS**

**Sección 5.7.1. Disposiciones generales**

Art. 5.7.1.1

§ 1. Las disposiciones de este capítulo son aplicables a las instalaciones especificadas en la sección 7 de la lista de clasificación.

§ 2. Las sustancias que se caen dentro del ámbito de las regulaciones relativas a sustancias peligrosas, en particular las provisiones del capítulo 5.17, sólo pueden ser suministradas, almacenadas, usadas y retiradas de la instalación a condición de que se cumplan de forma estricta las disposiciones de las citadas regulaciones.

§ 3. Para la aplicación de estas disposiciones, por “capacidad de producción” se entiende: la capacidad total durante un periodo de trabajo ininterrumpido de 24 horas, multiplicada por el número medio de días por año durante el cual las instalaciones pueden funcionar, en condiciones normales en cuanto a mantenimiento y seguridad. Esta capacidad se expresa en toneladas.

Art. 5.7.1.2

§ 1. La empresa operadora es responsable de la aceptación, fabricación, producción, preparación, proceso, manipulación, formulación, envasado y/o eliminación de las sustancias y productos.

§ 2. Se prohíbe la producción de bifenilos policlorados (PCB) y terfenilos policlorados (PCT).

§ 3. Se prohíbe la producción de clorofluorocarbonos (CFC), bromofluorocarbonos (BFC o halones), o mezclas de los mismos, según se especifica en el apéndice 5.7.

§ 4. Conforme al artículo 11 del reglamento del Consejo de la UE nº 3322/88 de 14 de octubre de 1998, los operadores de las instalaciones en las que se fabriquen los CFC y BFC referidos en el § 3 deberán facilitar la siguiente información a la Comisión de la Comunidad Europea así como al Departamento de Licencias Medioambientales, para cada uno de los CFC y BFFC referidos en el § 3:

1. Como máximo dos meses después de la entrada en vigor de la presente orden, con respecto al año 1986, y para todo el periodo afectado:

- a) Las cantidades producidas
- b) Las cantidades comercializadas
- c) Las cantidades utilizadas por su propia cuenta
- d) Las cantidades importadas
- e) Las cantidades exportadas
- f) Las cantidades retiradas;

por último, también deben indicarse las cantidades en stock a 31 de diciembre del año afectado;

2. Con respecto a los CFC, como máximo el 31 de agosto de cada año, para el periodo anterior del 1 de julio al 30 de junio:
- a) Las cantidades producidas
  - b) Las cantidades comercializadas
  - c) Las cantidades utilizadas por su propia cuenta
  - d) Las cantidades importadas
  - e) Las cantidades exportadas
  - f) Las cantidades retiradas;

por último, también deben indicarse las cantidades en stock a 30 de junio del año afectado;

3. Con respecto a los BFC, como máximo el 28 de febrero de cada año, para el año natural precedente:
- a) Las cantidades producidas
  - b) Las cantidades comercializadas
  - c) Las cantidades utilizadas por su propia cuenta
  - d) Las cantidades importadas
  - e) Las cantidades exportadas
  - f) Las cantidades retiradas;

por último, también deben indicarse las cantidades en stock a 31 de diciembre del año natural precedente.

- § 5.** Se prohíbe la producción de las siguientes sustancias, excepto cuando la producción de una o varias de ellas esté explícitamente permitida en la licencia ambiental:
- 1. bromometano;
  - 2. cianógeno, ácido cianhídrico (prúsico), y sus sales (cianuros);
  - 3. cianuros orgánicos (nitrilos).

#### Art. 5.7.1.3

**§ 1.** Si una instalación está sujeta a una exigencia de licencia debido a su clasificación en la sección 7 de la lista de clasificación, cualquier almacenaje de sustancias peligrosas debe también cumplir las condiciones del capítulo 5.17 "Sustancias peligrosas" de la presente orden, siempre que las cantidades de almacenaje en cuestión caigan dentro del ámbito del dicho capítulo.

Sin embargo, en las licencias medioambientales pueden indicarse excepciones con respecto a las distancias de separación entre dos grupos y/o subgrupos con cantidades de almacenaje no clasificadas. En tales casos, deben también indicarse las causas de la excepción.

**§ 2.** A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, el bromometano deberá almacenarse en recipientes a presión con un contenido máximo 100 kg de bromometano por bidón; los bidones de bromometano deberán ser colocados verticalmente, con el dispositivo de cierre del bidón en la parte superior; los bidones de bromometano deberán estar protegidos contra influencias meteorológicas como luz del sol y la lluvia, y no podrán apilarse; durante el almacenaje, los dispositivos de cierre de los bidones de bromometano deberán ser protegidos contra daños mecánicos por las tapas de cierre; los bidones vacíos deberán almacenarse como los bidones llenos;

**§ 3.** La construcción de todos los espacios para el proceso de productos peligrosos deberá realizarse de modo que las sustancias vertidas accidentalmente o las fugas de líquidos puedan ser recogidas.

Para prevenir la extensión de incendios, todos los espacios para el manejo de líquidos extremadamente inflamables y muy inflamables deberán estar contruidos de tal modo que las sustancias vertidas accidentalmente o las fugas de líquidos vayan a parar a un dispositivo de recogida y sean llevadas a uno o varios pozos de recogida por medio de canales de recolección.

Este dispositivo de recogida no podrá estar de ninguna manera conectado indirecta o directamente a una alcantarilla pública, un agua superficial, una balsa de recogida de agua superficial, una zanja o una capa freática.

El dispositivo de recogida y los pozos de recogida deberán ser vaciados con regularidad, y al menos después de cada incidente. Los flujos residuales resultantes deberán ser eliminados de un modo apropiado.

§ 4. Sin perjuicio de cualquier otra disposición legal o normativa relevante, el operador deberá adoptar todas las medidas requeridas para proteger suficientemente el área circundante contra los riesgos de incendio y explosión. Esto incluye la disponibilidad obligatoria del equipo contra incendios necesario. El tipo del equipo contra incendios requerido y dónde debe guardarse se determinará previa consulta con el cuerpo de bomberos competente. Este asunto está completamente desvinculado de la licencia ambiental.

El equipo contra incendios deberá mantenerse en un estado correctamente mantenido, protegido contra heladas, debidamente rotulado, fácilmente accesible, y deberá estar situado en posiciones apropiadas. Deberá poder ponerse en funcionamiento de forma inmediata.

§ 5. En la instalación deberá disponerse de los elementos necesarios para impedir que el agua contra incendios contaminada con productos químicos desagüe al suelo, alcantarillas públicas, aguas superficiales o subterráneas. El agua contra incendios contaminada recogida deberá desecharse de una manera apropiada. La capacidad de recogida para agua contra incendios contaminada deberá determinarse mediante consulta con el cuerpo de bomberos competente.

§ 6. Todas las personas y el personal que trabajen en la instalación deberán ser totalmente conscientes de la naturaleza de las sustancias y productos fabricados, y de los peligros involucrados. El personal deberá estar bien informado sobre las medidas a adoptar cuando se produzcan irregularidades. La empresa deberá proporcionar instrucciones actualizadas según se requiera. Estas instrucciones deberán ser evaluadas por la al menos una vez por año.

### Art. 5.7.1.4

§ 1. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental y como derogación de los valores límite de emisiones generales especificados en el capítulo 4.4, los valores límite de emisión indicados a continuación –expresados en mg/Nm<sup>3</sup> y referidos a las circunstancias siguientes: temperatura 0 °C, presión 101,3 kPa, gas seco, o gas húmedo si se utilizan si eyectores vapor– se aplican a los gases residuales descargados: las cantidades de aire suministradas a una parte de la instalación para la dilución o enfriamiento del gas residual no son tenidas en consideración en el cálculo de los valores de emisión.

#### 1. Acrilonitrilo:

- En el efluente gaseoso de las plantas de combustión para la producción de acrilonitrilo, independientemente del flujo de masa: 0,2 mg/Nm<sup>3</sup>
- Resto de casos, con un flujo de masa de 25 g/h o más: 5,0 mg/Nm<sup>3</sup>

#### 2. La siguiente sustancia orgánica, a un flujo de masa de 100 g/h o más:

##### 1,2-dicloroetano:

- En la producción de este compuesto: 5,0 mg/Nm<sup>3</sup>
- En otros casos: 20,0 mg/Nm<sup>3</sup>

#### 3. Polvo total:

Plantas para la producción de biocidas o ingredientes activos de los mismo, a un flujo de masa de 25 g/h o más:

- Para biocidas muy tóxicos o bioacumulativos y persistentes: 5,0 mg/Nm<sup>3</sup>
- Para biocidas muy tóxicos, nocivos o corrosivos: 20,0 mg/Nm<sup>3</sup>
- Para biocidas no nocivos: 100,0 mg/Nm<sup>3</sup>

§ 2. Los efluentes gaseosos deberán recogerse en su lugar de origen y, después de cualquier purificación necesaria para que cumplan las condiciones de emisión e inmisión prevalentes, descargarse a la atmósfera a través de una chimenea. Esta chimenea deberá ser suficientemente alta para, desde una perspectiva medioambiental, dispersar suficientemente las sustancias descargadas y no afectar a la salud pública. La altura mínima deberá determinarse de acuerdo con el sistema de cálculo de altura de chimeneas que se especifica en el art. 4.4.2.3.

## Sección 5.7.2 Producción de dióxido de titanio

### Art. 5.7.2.1

Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones referidas en la subsección 7.1 de la lista de clasificación, siempre que tales instalaciones pertenezcan al sector de producción de dióxido de titanio.

### Art. 5.7.2.2

§ 1. Se prohíbe el vertido de todo residuo sólido, residuos fuertemente ácidos, materias residuales de purificación, residuos débilmente ácidos o residuos neutralizados.

§ 2. Para instalaciones existentes, se aplicarán las siguientes disposiciones transitorias:

1. Para plantas existentes que utilizan el proceso de sulfato:  
La descarga de residuos débilmente ácidos y neutralizados en todas las aguas estará restringida a un valor no superior a 800 kg de cantidad total de sulfato –correspondiente a los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  del ácido sulfúrico libre y de los sulfatos metálicos– por tonelada de dióxido de titanio producida
2. Para plantas existentes que utilizan el proceso de cloruro:  
La descarga de residuos débilmente ácidos, materias de purificación de residuos y residuos neutralizados en todas las aguas estará restringida a los siguientes valores para la cantidad total de cloruro – correspondiente a los iones  $\text{Cl}^-$  del ácido clorhídrico libre y de los cloruros metálicos– por tonelada de dióxido de titanio producida:
  - 130 kg cuando se utiliza rutilo natural
  - 228 kg cuando se utiliza rutilo sintético
  - 450 kg cuando se utiliza escoria;

En el caso de instalaciones que utilicen más de un tipo de mineral, los valores se aplicarán en proporción a las cantidades de los minerales utilizados.

### Art. 5.7.2.3

Para emisiones a la atmósfera, se aplicarán las siguientes limitaciones de emisiones:

1. Para plantas existentes que utilicen el proceso de sulfato:
  - Valor límite de emisión para polvo: 50 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Deberá haber previsión para evitar la emisión de neblinas ácidas.
  - Las emisiones de  $\text{SO}_x$  que se originen en las fases de disolución y tueste de la producción de dióxido de titanio estarán restringidas a un máximo de 10 kg de equivalente de  $\text{SO}_2$  por tonelada de dióxido de titanio producida
  - Las plantas en las que los ácidos residuales estén concentrados no podrán descargar más de 500 mg/Nm<sup>3</sup> de  $\text{SO}_x$ , calculado como equivalente de  $\text{SO}_2$
  - Las plantas en las que se tuesten las sales procedentes de la purificación de residuos deberán estar equipadas con las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones de  $\text{SO}_x$ ;
2. Para plantas existentes que utilicen el proceso de cloruro:
  - Valor límite de emisión para polvo: 50 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Cloro: Media diaria de: 5 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Valor instantáneo de: 40 mg/Nm<sup>3</sup>.

### Art. 5.7.2.4

Por lo que respecta a los residuos de la industria de dióxido de titanio – y en particular los residuos en los que la descarga o vertido en aguas o la emisión a la atmósfera esté prohibida – deberán adoptarse las medidas necesarias para asegurar que:

1. En la medida de lo posible no se generen, o que sean reutilizados, siempre que esto sea posible técnica y económicamente:

2. Se reutilicen o desechen sin poner en peligro la salud humana y sin efectos adversos sobre el medio ambiente.

Lo mismo se aplicará a los residuos generados durante el reciclaje o la purificación de los residuos arriba indicados.

Art. 5.7.2.5

§ 1. Las cantidades de SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> y neblinas ácidas – expresadas como equivalente de SO<sub>2</sub> - emitidas por determinadas plantas deberán calcularse teniendo en cuenta el volumen de los gases emitidos durante las actividades específicas afectadas y el contenido medio de SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> medido durante el mismo periodo. La determinación del caudal y del contenido de SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> deberá realizarse en las mismas condiciones de temperatura y humedad.

§ 2. Sin perjuicio de las disposiciones del artículo 5.7.1.4 y de los capítulos 2.5 y 4.4, en una o varias estaciones de medición localizadas cerca de la instalación en un lugar que sea representativo de la contaminación originada en la planta, deberá monitorizarse lo siguiente:

1. Inmisiones de dióxido de azufre, si se utiliza el proceso de sulfato para la producción de dióxido de titanio.
2. Inmisiones de cloro, si se utiliza el proceso de cloración para la producción de dióxido de titanio.

Si no se dispone de ninguna estación de medición de inmisiones según el primer párrafo, deberán realizarse mediciones al menos 12 veces al año de la cantidad de emisiones gaseosas de dióxido de azufre y cloro, respectivamente, para el complejo de producción.

§ 3. A partir del 1 de enero de 1995, a menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental y como derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, las emisiones de SO<sub>x</sub> que se originen en las fases de disolución y tueste de la producción de dióxido de titanio deberán estar restringidas a un valor no superior a 10 kg de equivalente de SO<sub>2</sub> por tonelada de dióxido de titanio producida.

**Sección 5.7.3. Producción de dióxido a azufre, trióxido de azufre, ácido sulfúrico u óleum (ácido sulfúrico fumante)**

Art. 5.7.3.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las plantas de producción de dióxido de azufre, trióxido de azufre, ácido sulfúrico u óleum referidas en la subsección 7.1 de la lista de clasificación.

§ 2. Para la aplicación de estas disposiciones, la "eficacia de conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>" se define del modo siguiente:

$$\text{eficacia de conversión} = \frac{\text{SO}_2(\text{entrada}) - \text{SO}_2(\text{salida})}{\text{SO}_2(\text{entrada})} \times 100 (\%)$$

Art. 5.7.3.2

§ 1. Si –en vista de los gases usados como materia prima– es técnicamente posible desde el punto de vista de las mejores técnicas disponibles, deberá usarse el proceso de doble contacto para la conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>. Si demuestra ser indispensable, a fin de conseguir las limitaciones de emisión correspondientes a los valores de eficacia de conversión prescritos en § 4 de este artículo, las emisiones de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> podrán reducirse adicionalmente utilizando un quinto lecho de contacto, o a través de medidas equivalentes. Se permitirá el uso de cualquier proceso alternativo, siempre que tal proceso sea al menos equivalente desde la perspectiva del control de contaminación y en particular siempre que garantice porcentajes de conversión iguales o superiores.

§ 2. El proceso de contacto simple (sin absorción intermediaria) se permitirá sólo si se procesan gases con contenido de SO<sub>2</sub> inferior al 10 %, o gases cuyo contenido de SO<sub>2</sub> varíe ampliamente. Si es indispensable, a fin de conseguir las limitaciones de emisión correspondientes a los valores de eficacia de conversión prescri-

tos en § 4 de este artículo, las emisiones de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> podrán reducirse adicionalmente mediante lavado alcalino, o a través de medidas equivalentes.

§ 3. El proceso catalítico húmedo se permitirá sólo con tueste de sulfuro de molibdeno y para desulfurización de los gases de combustión.

§ 4. El porcentaje de conversión medio diario deberá ser al menos:

1. Si se utiliza el proceso de contacto simple:
  - a) con un gas de alimentación con menos de un 6 % de SO<sub>2</sub>, deberá alcanzarse un porcentaje de conversión del 97,5 %.
  - b) con un gas de alimentación con un 6 % de SO<sub>2</sub> o más, deberá alcanzarse un porcentaje de conversión de al menos un 98,5 %;
2. Si se utiliza el proceso de doble contacto:
  - a) con un gas de alimentación con menos de un 8 % de SO<sub>2</sub>, deberá alcanzarse un porcentaje de conversión del 99 %.
  - b) con un gas de alimentación con un 8 % de SO<sub>2</sub> o más, deberá alcanzarse un porcentaje de conversión de al menos:
    - 99,5 % con condiciones variables del gas;
    - 99,6 % con condiciones constantes del gas;
3. Si se utiliza el proceso catalítico, deberá alcanzarse un porcentaje de conversión de al menos un 97,5 %;
4. Si se utiliza cualquier otro proceso, deberá alcanzarse un porcentaje de conversión a al menos un 99 %.

§ 5. En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, serán aplicables los siguientes valores de límites de emisión:

1. dióxido de azufre: 1700 mg/Nm<sup>3</sup>, sin perjuicio del porcentaje de conversión prescrito en el artículo 5.7.5.1;
2. trióxido de azufre:
  - con condiciones constantes del gas: 60 mg/Nm<sup>3</sup>;
  - en los otros casos: 120 mg/Nm<sup>3</sup>.

§ 6. Además, podrán imponerse los valores límite de la licencia ambiental para el flujo de masa de las emisiones de SO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (expresadas como SO<sub>3</sub>) en los gases residuales emitidos.

§ 7. Los valores de eficacia de conversión indicados en el § 4 de este artículo no son aplicables a generadores de SO<sub>3</sub> de la categoría 3 que se utilicen para estimular la emisión de cenizas volantes mediante la inyección de SO<sub>3</sub> en los gases de combustión de instalaciones de calefacción. Para los gases de combustión tratados de este modo, son aplicables los estándares de emisión de SO<sub>3</sub> de la instalación de calefacción correspondiente.

### Sección 5.7.4 Producción de ácido nítrico

#### Art. 5.7.4.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las plantas de producción de ácido nítrico referidas en la subsección 7.1 de la lista de clasificación.

§ 2. En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, para óxidos de nitrógeno en los efluentes gaseosos emitidos – expresados como NO<sub>2</sub> – se aplicará un valor límite de emisión de: 450 mg/Nm<sup>3</sup>. Además, sólo podrán emitirse efluentes gaseosos incoloros a la atmósfera. Para conseguirlo, y sin perjuicio del valor límite prescrito en el primer párrafo, la emisión de NO<sub>2</sub> no deberá rebasar el valor resultante del cálculo de la forma siguiente:

$$\text{Concentración de NO}_2 = \frac{1200}{\text{Ancho de la boca de la chimenea en dm}}$$

### **Sección 5.7.5 Producción de cloro**

#### Art. 5.7.5.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones referidas en la subsección 7.5 de la lista de clasificación.

§ 2. En derogación y suplemento de las disposiciones de la sección 4.4.3, serán aplicables los siguientes valores límites de emisión:

1. cloro:
  - a) en plantas para la producción de cloro con licuefacción completa: 6 mg/Nm<sup>3</sup>;
  - b) en los otros casos: 1 mg/Nm<sup>3</sup>;
2. mercurio y sus compuestos:
  - a) con un flujo de masa de 1 g/h o más: 0.2 mg/Nm<sup>3</sup>
  - b) con electrólisis cloro-álcali según el proceso de amalgama, no deberán rebasarse las siguientes emisiones medias anuales de mercurio en el aire eliminado de la sala de células:
    - i. 1,5 g por tonelada de cloro producida, para plantas nuevas
    - ii. 2 g por tonelada de cloro producida, para plantas existentes
    - iii. el mercurio en los compuestos de hidrógeno emitidos a la atmósfera o combustiónados se halla incluido en este valor límite.

§ 3. Ya no se concederán licencias para la construcción de nuevas plantas para la producción de cloro según el proceso de cátodo de mercurio. Después del año 2010, el proceso de cátodo de mercurio dejará de aplicarse.

### **Sección 5.7.6 Producción de azufre**

#### Art. 5.7.6.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las plantas de producción de azufre referidas en la subsección 7.1 de la lista de clasificación.

§ 2. En plantas que utilicen el proceso Claus, deberán alcanzarse las siguientes eficacias de conversión de azufre:

1. Con una capacidad de producción de hasta 20 toneladas de azufre al día: 97 %;
2. Con una capacidad de producción entre 20 y 50 toneladas de azufre al día: 98 %;
3. Con una capacidad de producción de más de 50 toneladas de azufre al día: 99 %.

Aquí la eficacia de conversión debe entenderse como la proporción entre el azufre producido y el azufre en el gas de alimentación.

§ 3. En derogación de las disposiciones de la sección 4.4.3, las emisiones de sulfuro de hidrógeno en los efluentes gaseosos no podrán exceder 10 mg/Nm<sup>3</sup>. Para ello, los gases residuales deberán pasar a través de un incinerador.

§ 4. Las concentraciones de emisión de SO<sub>2</sub> del proceso Claus que formen parte de refinerías de petróleo estarán reguladas por el artículo 5.20.2.2 ("Refinerías de petróleo") del capítulo 5.20.

### **Sección 5.7.7 Producción de compuestos o disolventes orgánicos**

#### Art. 5.7.7.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones que producen compuestos o disolventes orgánicos referidas en la sección 7 de la lista de clasificación.

§ 2. Los gases residuales de plantas para la producción de 1,2-dicloroetano y de cloruro de vinilo deberán ser conducidos a una instalación de eliminación de emisiones atmosféricas para efluentes gaseosos. En

derogación de las disposiciones de la sección 4.4.3, para 1,2-dicloroetano en los gases residuales emitidos se aplicará un valor límite de emisión de 5 mg/Nm<sup>3</sup>.

§ 3. Los gases residuales del sistema de reactor y del absorbedor de una instalación para la producción de acrilonitrilo deberán ser conducidos a un incinerador. En derogación de las disposiciones de la sección 4.4.3, para acrilonitrilo en los gases residuales emitidos se aplicará un valor límite de emisión de 0,2 mg/Nm<sup>3</sup>. Los gases residuales resultantes de la purificación de los productos de reacción (destilación) así como los gases residuales generados durante el llenado, deberán conducirse a un lavador.

### Sección 5.7.8 Producción de hidrocarburos en plantas petroquímicas no integradas en una refinería de petróleo

#### Art. 5.7.8.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones de producción de hidrocarburos referidas en la sección 7.3 de la lista de clasificación.

§ 2. Los gases residuales emitidos discontinuamente por plantas de proceso como efluentes gaseosos resultantes de la regeneración de agentes catalíticos o de actividades de inspección y limpieza deberán conducirse a una instalación de combustión, o deberán tomarse medidas de eliminación equivalentes.

§ 3. Los efluentes gaseosos liberados con el arranque o la parada de una instalación, en la medida de lo posible, deberán ser conducidos a un sistema de recogida para efluentes gaseosos o incinerados en instalaciones de calentamiento del proceso. Si esto no es posible, los gases deberán ser conducidos a una antorcha en la cual no puede excederse un nivel de emisión para sustancias orgánicas del 1 % con respecto al contenido total de carbono.

§ 4. Los efluentes gaseosos de instalaciones de desulfurización u otras fuentes con un nivel de volumen del sulfuro de hidrógeno de más del 0,4 % y un flujo de masa de sulfuro de hidrógeno de más de 2 toneladas/días deberán ser tratados ulteriormente.

Los efluentes gaseosos que no sean procesados ulteriormente deberán ser conducidos a un incinerador.

En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, las emisiones de sulfuro de hidrógeno en los efluentes gaseosos descargados no podrán exceder 10 mg/ Nm<sup>3</sup>.

Las aguas que contengan sulfuro de hidrógeno sólo podrán ser procesadas de modo que se evite la liberación de efluentes gaseosos a la atmósfera.

§ 5. En la transferencia productos de base, intermedios y finales, las emisiones de sustancias orgánicas con una presión de vapor de más de 13,3 kPa a una temperatura de 35 °C deberán reducirse por medio de medidas apropiadas, como sistemas de desplazamiento de gas, extracción y transferencia a una instalación de purificación de efluentes gaseosos.

§ 7. El agua de proceso sólo podrá ser descargada en un sistema abierto después de su desgasificación. Los efluentes gaseosos aquí recogidos deberán limpiarse por lavado o incineración.

### Sección 5.7.9 Producción de carbono

#### Art. 5.7.9.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las plantas de producción de carbono (lignito duro) o electrografito (usado en electrodos, colectores de corriente o componentes para aparatos) referidas en la subdivisión 7.1 de la lista de clasificación.

§ 2. En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, los valores límite de emisión para sustancias orgánicas en las aguas residuales gaseosas son los siguientes:

1. en mezcla y moldeado, de instalaciones de mezcla y moldeo donde se procese brea, alquitrán u otros aglomerantes y licuefactores volátiles a temperaturas elevadas, expresados como carbono total: 100 mg/Nm<sup>3</sup>
2. en combustión, de hornos con una cámara, hornos con cámaras combinadas y hornos de túnel, expresados como carbono total: 500 mg/Nm<sup>3</sup>

3. en combustión, de hornos anulares para electrodos de grafito y bloques de carbono, expresados como carbono total: 200 mg/Nm<sup>3</sup>
4. en impregnación, de instalaciones de impregnación en las que se utilicen agentes de impregnación a base de alquitrán, expresados como carbono total: 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

### Sección 5.7.10 Fabricación de peróxidos

#### Art. 5.7.10.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones referidas en la subsección 7.6 de la lista de clasificación.

§ 2. Los peróxidos orgánicos sólo podrán fabricarse si está explícitamente permitido en la licencia ambiental.

Los peróxidos orgánicos, que pueden explotar o detonar en una reacción térmica violenta, deberán mantenerse en la instalación a una temperatura por debajo de la temperatura que desde el punto de vista de seguridad sea la temperatura máxima permisible según la naturaleza de la sustancia afectada; para las sustancias indicadas a continuación, esta temperatura máxima es:

- acetil ciclohexano sulfonil peróxido: -10 °C
- peróxido de ácido ámbar: +10 °C
- peroxiisopropilcarbonato de tert.-butilo (BPIC): temperatura ambiente
- peroxipivalato de tert.-butilo: -10 °C
- peróxido de dibenzoilo: temperatura ambiente
- peroxidicarbonato de dicitlohexilo: +5 °C
- peroxidicarbonato de diisopropilo: -15 °C.

§ 3. Los peróxidos referidos en el § 2 que deban mantenerse en la instalación a una temperatura inferior a la temperatura ambiente, deberán almacenarse:

1. En refrigeradores o congeladores situados en la nave de producción, en cuyo caso cada refrigerador o congelador podrá contener una cantidad máxima de 30 kg de peróxidos orgánicos no refrigerados;
2. O en refrigeradores o congeladores situados en una nave de almacenaje separada en la que sólo se almacenen dichos peróxidos. En este caso cada refrigerador o congelador podrá contener una cantidad máxima de peróxidos orgánicos no refrigerados;
3. O en una cámara frigorífica separada prevista únicamente para este fin. En este caso, a menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, por cámara frigorífica podrá almacenarse una cantidad máxima de peróxidos orgánicos no refrigerados de 500 kg.

### Sección 5.7.11 Producción de cloruro de polivinilo

#### Art. 5.7.11.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones de producción de cloruro de polivinilo, referidas en la sección 7 de la lista de clasificación.

§ 2. En la transición desde el sistema cerrado para polimerización o secado al sistema abierto, los residuos de cloruro de vinilo (VC) en el polimerizado deberán mantenerse todo lo bajos que sea posible. No podrán excederse los siguientes valores medios mensuales máximos:

- masa de PVC: 10 mg VC / kg PVC
- homopolimerizados en suspensión: 0,10 g VC / kg PVC
- copolimerizados en suspensión: 0.40 g VC / kg PVC
- PVC en microsuspensión y en emulsión:: 1,5 g VC / kg PVC.

§ 3. Para reducir ulteriormente la concentración de masa del cloruro de vinilo en el efluente gaseoso, en la medida de lo posible el gas consumido de la planta de secado deberá usarse como gas de combustión en instalaciones de calefacción.

### Sección 5.7.12 Producción de caprolactama

#### Art. 5.7.12.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones de producción de caprolactama, referidas en la sección 7 de la lista de clasificación.

§ 2. En la producción de caprolactama según el proceso Raschig, las emisiones de NO<sub>2</sub> no podrán exceder 15 kg de NO<sub>x</sub>/tonelada de caprolactama producida.

### Sección 5.7.13 Producción de materiales sintéticos a base de poliacrilonitrilo

#### Art. 5.7.13.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones de producción de materiales sintéticos a base de poliacrilonitrilo, referidas en la sección 7 de la lista de clasificación.

§ 2. Producción y proceso de polimerizados de acrilonitrilo para obtención de fibras.

1. Para las emisiones de acrilonitrilo en los efluentes gaseosos de las plantas de secado, se aplicará un valor límite de emisión de 20 mg/Nm<sup>3</sup>.
2. Los gases consumidos que contienen acrilonitrilo y provienen de los recipientes de reacción, de la purga intensiva de gases residuales, del tanque de suspensión y del filtro lavador, deberán ser conducidos a un lavador de gas consumido o un adsorbedor. Para las emisiones de acrilonitrilo en el efluente gaseoso del adsorbedor, se aplicará un valor de límite de emisión de 10 mg/Nm<sup>3</sup>.
3. En el hilado del polímero para producir fibras, los caudales de gas residual con un contenido de acrilonitrilo de más de 5 mg/Nm<sup>3</sup> deberán ser conducidos a una instalación de eliminación de emisiones atmosféricas para gas consumido.

#### § 3. Producción de resinas ABS

1. Polimerización en emulsión:  
Los efluentes que contengan acrilonitrilo liberados durante la polimerización, la precipitación o la limpieza del reactor, deberán ser conducidos a un incinerador; para las emisiones de acrilonitrilo en el efluente gaseoso de la planta de secado, se aplicará un valor límite de emisión de 25 mg/Nm<sup>3</sup> como media diaria;
2. Polimerización combinada en solución / emulsión:  
Los efluentes gaseosos que contengan acrilonitrilo liberados de los reactores, durante el almacenaje intermedio, la precipitación, la deshidratación, el reciclaje de disolventes y en las mezcladoras, deberán ser conducidos a un incinerador; para las emisiones de acrilonitrilo liberadas cerca del escape de la mezcladora, se aplicará un valor de límite de emisión de 10 mg/Nm<sup>3</sup> como media mensual.

#### § 4. Producción de goma de nitrilo (NBR)

Los gases consumidos que contengan acrilonitrilo del reciclaje de butadieno, durante el almacenaje intermedio del látex y del lavado de la goma sólida deberán ser conducidos a un incinerador.

Los gases consumidos emitidos durante el reciclaje del acrilonitrilo deberán ser conducidos a un lavador de gas consumido. Para las emisiones de acrilonitrilo en el efluente gaseoso de la planta de secado, se aplicará un valor límite de emisión de 15 mg/Nm<sup>3</sup>.

#### § 5. Producción de dispersiones mediante polimerización en emulsión de acrilonitrilo

Los efluentes gaseosos que contengan acrilonitrilo emitidos de los recipientes que reciban monómero, los reactores, los tanques de almacenaje intermedio y los condensadores, deberán ser conducidos a una planta de purificación de gases residuales si el contenido de acrilonitrilo es superior a 5 mg/Nm<sup>3</sup>.

### Sección 5.7.14 Producción y proceso de viscosa

#### Art. 5.7.14.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a los establecimientos que producen viscosa, referidos en la sección 7 de la lista de clasificación.

§ 2. Los gases consumidos de la producción de viscosa, del reproceso del baño de hilatura y del tratamiento posterior para producir rayón textil deberán ser conducidos a una instalación de eliminación de emisiones. En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, los valores límite de emisión para gases residuales son:

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. Para sulfuro de hidrógeno: | 5 mg/Nm <sup>3</sup> como valor medio diario   |
| 2. Para disulfuro de carbono: | 0,10 g/Nm <sup>3</sup> como valor medio diario |

§ 3. En la producción de lana de celulosa y celofán, los efluentes gaseosos de las hiladoras, así como del tratamiento posterior, deberán ser conducidos a una instalación de eliminación de emisiones. En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, los valores límite de emisión para gases residuales son:

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. Para sulfuro de hidrógeno: | 5 mg/Nm <sup>3</sup> como valor medio diario   |
| 2. Para disulfuro de carbono: | 0,15 g/Nm <sup>3</sup> como valor medio diario |

§ 4. En la fabricación de productos de viscosa, para todos los efluentes gaseosos – incluido el aire extraído de las distintas salas y cerca de las máquinas – se aplicarán los siguientes valores límite de emisión hasta el 31 de diciembre de 2001:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Para sulfuro de hidrógeno:                                   | 100 mg/Nm <sup>3</sup> como valor medio diario |
| 2. Para disulfuro de carbono:                                   | 600 mg/Nm <sup>3</sup>                         |
| 3. Para la suma de sulfuro de hidrógeno y disulfuro de carbono: | 650 mg/Nm <sup>3</sup> .                       |

Deberán aplicarse las mejores técnicas disponibles para reducir al máximo y si es posible prevenir las emisiones de sulfuro de hidrógeno y disulfuro de carbono.

A partir del 1 de enero de 2002, y en derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, se aplican los siguientes valores límite de emisión para el efluente gaseoso:

- |   |   |
|---|---|
| 1. Para sulfuro de hidrógeno:   | 50 mg/Nm <sup>3</sup> como valor medio diario |
| 2. Para disulfuro de carbono se aplican distintos valores según el producto de viscosa de que se trate: |   |
| a) lana de celulosa:  | 150 mg/Nm <sup>3</sup>                        |
| b) celofán:   | 150 mg/Nm <sup>3</sup>                        |
| c) rayón (textil):  | 150 mg/Nm <sup>3</sup>                        |
| d) cubiertas sintéticas:  | 400 mg/Nm <sup>3</sup>                        |
| e) gamuza sintética:  | 400 mg/Nm <sup>3</sup>                        |
| f) rayón (técnico):   | 600 mg/Nm <sup>3</sup> .                      |

### Sección 5.7.15 Producción de esmalte

#### Art. 5.7.15.1

Las disposiciones de esta sección son aplicables a los establecimientos que producen esmalte, referidos en la sección 7 de la lista de clasificación.

#### Art. 5.7.15.2

§ 1. En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, los valores límite de emisión para efluentes gaseosos de la producción de esmalte son:

1. Para fluoruros inorgánicos gaseosos, expresados como fluoruro de hidrógeno: 15 mg/Nm<sup>3</sup>, con 5 mg/Nm<sup>3</sup> como valor de referencia;
2. Para óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), expresados como NO<sub>2</sub>: 15 kg por tonelada de esmalte producido como media mensual, con una concentración máxima de 2200 mg/Nm<sup>3</sup> y con 500 mg/Nm<sup>3</sup> como valor de referencia.

§ 2. En derogación del artículo 1.1.2, las concentraciones indicadas en el art. § 1 están referidas al contenido de oxígeno real de los efluentes gaseosos emitidos.

§ 3. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, los valores de emisión de las sustancias arriba indicadas deberán medirse continuamente mediante equipo instalado con costes a cargo de la empresa operadora, y utilizados según un código de buenas prácticas que haya sido aprobado por un experto acreditado en el campo de la contaminación atmosférica.

### **Sección 5.7.16. Procesos discontinuos en la producción de compuestos de química fina y fármacos**

#### Art. 5.7.16.1

Para procesos de producción de compuestos de química fina y fármacos, para procesos discontinuos que no superen los 500 kg de producto final puro por lote, las condiciones de valores límite de emisión en mg/Nm<sup>3</sup> son sustituidas por la siguiente regulación:

El proceso deberá cumplir con una emisión total máxima de un 15 % de la entrada de disolventes.

### **Anexo 5**

#### **CAPITULO 5.17 ALMACENAJE DE PRODUCTOS PELIGROSOS**

##### **Sección 5.17.1. Disposiciones generales**

#### Art. 5.17.1.1

§ 1. Las regulaciones en este capítulo son aplicables a las instalaciones especificadas en la sección 17 de la lista de clasificación. Para la aplicación de las disposiciones en este capítulo, hay que tener en consideración tanto la propiedad principal como el punto de inflamación. Para combustibles líquidos sólo deberá considerarse el punto de inflamación.

§ 2. El almacenaje a corto plazo en relación al transporte por carretera, ferrocarril, canales y ríos, por vía marítima o por avión, incluyendo la carga y descarga y la transferencia a o desde otra forma de transporte en puertos, muelles o áreas de carga ferroviaria, no estará sujeto a las condiciones de este reglamento. Sin embargo, si los productos peligrosos referidos en este reglamento son almacenados en instalaciones de almacenaje localizadas en puertos, muelles o áreas de carga ferroviaria, y si estas instalaciones de almacenaje se utilizan para el almacenaje a corto plazo regular de tales productos peligrosos, entonces dichas instalaciones de almacenaje estarán sujetas a las condiciones de este reglamento.

#### Art. 5.17.1.2

§ 1. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, se prohíbe la operación de una instalación de categoría 1 para el almacenaje de productos que no sean de las clases P1, P2, P3 o P4:

1. En una zona de extracción de agua o una zona protegida del tipo I, II o III.
2. En una zona que no sea zona industrial.
3. A una distancia de menos de 100 metros de:
  - a) una zona residencial
  - b) un aparcamiento
  - c) una zona recreativa.

§ 2. Las prohibiciones del § 1 no son aplicables a:

1. Plantas existentes o parte de las mismas, según lo especificado en el artículo 3.2.1.1.
2. Productos peligrosos que estén en un estado físico-químico tal que no tengan propiedades que puedan producir un accidente grave, siempre que esta circunstancia haya sido confirmada por un experto acreditado en seguridad externa y riesgos de accidentes graves.
3. Productos peligrosos que se utilicen en el funcionamiento normal de una extracción de agua pública.

§ 3. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, se prohíbe la operación de una instalación de tanques para el almacenaje de productos que no sean de los grupos P1, P2, P3 o P4 en una zona de extracción de agua o una zona protegida del tipo I, II o III:

§ 4. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, se prohíbe el almacenaje de las siguientes sustancias:

1. bromometano
2. cianógeno, cianuro de hidrógeno (ácido prúsico) y sus sales (cianuros)
3. cianuros orgánicos (nitrilos).

### Art. 5.17.1.3

§ 1. A menos que se especifique lo contrario en la licencia medioambiental, en la entrada de las instalaciones a las que sea aplicable el artículo 7 del título I de la VLarem, deberá colocarse un rótulo de identificación e información de al menos 1 m<sup>2</sup> que indique al menos la información siguiente de forma clara y legible:

1. "VR-PLICHTIG BEDRIJF" (empresa obligada a presentar un informe de seguridad) si de acuerdo con el artículo 7 § 3 del título I de la VLAREM se trata de una empresa para la que se requiere un informe de seguridad, o "GEVAARLIJKE STOFFEN" (sustancias peligrosas), en instalaciones para las que sean aplicables los artículos 7 § 1 y § 2 del título I de la VLAREM.
2. Nombre, domicilio y número de teléfono de la empresa operadora.
3. Los números de teléfono de contacto y emergencia (bomberos).

§ 2. En la entrada a instalaciones para las que sea aplicable el artículo 7 del título I de la VLAREM, deberá conservarse un plano actualizado del complejo dentro de un armario incombustible que sea fácilmente accesible por los servicios de emergencia. Para todas las instalaciones de almacenaje de productos peligrosos de la instalación, la información siguiente debe estar claramente indicada en el plano del complejo:

1. La localización exacta.
2. Los nombres químicos y/o técnicos del producto peligroso, con la especificación de la clasificación según las directivas de la CE 67/548/CEE de 27 de junio de 1967 o 88/379/CEE de 7 de junio de 1988 y del número UN (Naciones Unidas).
3. La especificación de si se trata de almacenaje en:
  - a) Receptáculos móviles.
  - b) Depósitos fijos por encima del nivel del suelo.
  - c) Depósitos soterrados.
  - d) Depósitos situados en una zanja.
4. La capacidad de almacenaje máxima en toneladas o m<sup>3</sup>
5. La temperatura de almacenaje normal en °C y la presión de almacenaje en Pa.

§ 3. El armario referido en el § 2 deberá llevar la indicación "GS-SITUATIEPLAN" ("plano de situación de materias peligrosas"), en letras negras con una altura de al menos 8 centímetros sobre fondo amarillo. Si este armario se mantiene cerrado:

1. La llave de la cerradura en cuestión deberá conservarse junto al armario, detrás de una cubierta protectora de vidrio que pueda romperse con un pequeño martillo en caso de emergencia.
2. O el armario en sí deberá estar cerrado con un frontal de vidrio de protección que pueda romperse con un pequeño martillo en caso de emergencia.

§ 4. Las condiciones especificadas en los § 2 y § 3 pueden quedar derogadas si se utiliza un sistema alternativo que sea aceptado por el Departamento de Licencias Ambientales y que ofrezca al menos las mismas garantías por lo que respecta a la información..

§ 5. Deberán aplicarse las disposiciones necesarias para hacer que la instalación sea inaccesible a personas no autorizadas.

§ 6. Las disposiciones del § 5 no serán aplicables a instalaciones de almacenaje que formen parte de una instalación de distribución de combustible para vehículos a motor.

Art. 5.17.1.4

§ 1. Deberá asegurarse la estanqueidad contra fugas de las conducciones, conexiones, válvulas y de todos los accesorios. Deberán estar protegidas contra corrosión de forma eficaz.

§ 2. Los tubos no accesibles deberán estar colocados en una zanja que deberá rellenarse con un material inerte de grano fino. Esta zanja deberá ser impermeable y descender hasta un pozo colector impermeable. Este sistema podrá ser sustituido por un sistema alternativo que ofrezca las mismas garantías en cuanto a la prevención de la contaminación del agua subterránea y/o del suelo. El sistema alternativo deberá ser aprobado por un experto ambiental acreditado en recipientes para gases o sustancias peligrosas. Deberá prepararse un certificado de dicha aprobación, firmado por el citado experto ambiental. Este certificado deberá conservarse disponible para su revisión por parte del funcionario supervisor. Una copia del certificado deberá ser enviada por la empresa operadora al Departamento de Licencias Ambientales.

§ 3. Se prohíbe la instalación de conducciones para el transporte de productos P1 y/o P2 dentro de espacios, excepto si la tubería es de un solo tubo (sin juntas), o si los espacios han sido estructurados y divididos en zonas de acuerdo con las exigencias referidas en las regulaciones generales para instalaciones eléctricas, en particular los artículos que hacen referencia a espacios en los cuales pueda originarse una atmósfera explosiva.

Art. 5.17.1.5

§ 1. Sin perjuicio de disposiciones ulteriores, deberán tomarse las medidas de precaución necesarias para evitar que los productos entren en contacto entre sí en caso de que:

1. ello pudiera producir reacciones químicas peligrosas.
2. dichos productos pudieran reaccionar entre sí para formar gases y vapores nocivos y peligrosos.
3. el contacto entre dichos productos pudiera producir explosiones y/o incendio.

§ 2. Si en la instalación se almacenan productos con propiedades principales distintas, la instalación de almacenaje deberá estar subdividida en distintos compartimentos, y en cada compartimento sólo deberán almacenarse productos con las mismas propiedades principales.

Estos compartimentos deberán estar delimitados mediante paredes, pantallas de seguridad, marcas en el suelo, cadenas o demarcaciones fijas a una altura de 1 metro.

No obstante, podrán almacenarse en un mismo compartimento productos con propiedades principales distintas si según el apéndice 5.17.1 la distancia de separación mínima entre los productos es de 0 metros.

§ 3. Toda operación de fabricación u otro tratamiento no relacionado con el almacenaje o transferencia de los productos estará prohibido dentro de las instalaciones de almacenaje y las zonas delimitadas por las distancias de separación y/o pantallas prescritas en el apéndice 5.17.1

§ 4. Los productos no podrán almacenarse fuera de los espacios de almacenaje previstos para tal fin. Los recipientes móviles vacíos contaminados que hayan contenido productos peligrosos deberán almacenarse en un lugar específico que deberá estar claramente indicado.

Art. 5.17.1.6

§ 1. Por lo que respecta a compartimentos sobre el nivel del suelo para productos con una propiedad principal específica, deberán observarse las distancias de separación mínimas indicadas en el apéndice 5.17.1.

§ 2. Las distancias especificadas en el § 1 podrán reducirse mediante la construcción de una pantalla de seguridad, a condición de que la distancia medida horizontalmente alrededor de esta pantalla entre el com-

partimento afectado y los elementos indicados en el apéndice 5.17.1 sea igual o mayor que las distancias de seguridad mínimas prescritas en el § 1.

La pantalla de seguridad deberá ser de ladrillo con un espesor de al menos 18 cm, o de cemento con un espesor de al menos 10 cm, o de cualquier otro material con un espesor que proporcione un coeficiente equivalente de resistencia al fuego. La pantalla deberá tener una altura mínima de 2 m y debe superar la altura máxima de los receptáculos o recipientes almacenados en al menos 0,5 m.

§ 3. Las citadas distancias de separación mínima podrán ser modificadas en la licencia medioambiental, si se considera necesario, y en particular de acuerdo con los resultados especificados en el informe de seguridad o en base a un análisis de riesgo realizado por un experto en seguridad externa y riesgos de accidentes graves.

§ 4. A menos que se especifique lo contrario en la licencia medioambiental, las estipulaciones de distancias a observar no serán aplicables a:

1. Productos almacenados en laboratorios.
2. Productos para los que la capacidad de almacenaje total para una propiedad específica por instalación de almacenaje sea menor que el límite inferior indicado en la categoría 3 de la sección de clasificación correspondiente.
3. Las instalaciones de almacenaje referidas en la sección 17.4.

### Art. 5.17.1.7

§ 1. Deberán adoptarse las medidas necesarias (ej. conexión a tierra) para evitar la formación de cargas electrostáticas peligrosas en el almacenaje y manipulación de productos explosivos, extremadamente inflamables, muy inflamables e inflamables.

§ 2. Los espacios en los que se almacenen productos peligrosos sólo podrán caldearse mediante aparatos cuya ubicación y uso ofrezca garantías suficientes contra riesgo de incendio o de explosión.

§ 3. En los espacios en los que se almacenen productos peligrosos:

1. No podrá realizarse ningún trabajo que requiera el uso de un aparato que trabaje con llama desnuda o que pueda generar chispas, a excepción del trabajo de mantenimiento y/o reparación, a condición de que se hayan adoptado las precauciones necesarias y sujeto a instrucciones escritas preparadas y/o aprobadas por el jefe del Departamento de Protección y Prevención o por la empresa operadora.
2. Se aplicará la prohibición de fumar; esta prohibición de fumar deberá indicarse con rótulos o carteles claramente legibles en el exterior de las puertas de entrada y dentro de los espacios en cuestión; la obligación de fijar el pictograma de "prohibido fumar" no se aplicará si dicho pictograma se coloca a la entrada de la empresa y si la prohibición de fumar y de uso de fuego vivo se aplica a toda la empresa
3. Las chimeneas y conductos de descarga para los vapores extraídos y emanaciones deberán estar contruidos con materiales incombustibles o ignífugos.

§ 4. Esta prohibido:

1. Fumar, encender fuego o almacenar sustancias combustibles encima o cerca de los recipientes, cerca de las bombas, las tuberías, las unidades de distribución, las áreas de llenado y el lugar de descarga para camiones cisterna, dentro de los límites de las zonas delimitadas en el plano de división por zonas, y con demarcación según las regulaciones generales para instalaciones eléctricas
2. Llevar calzado o ropa que pueda causar la generación de chispas en los lugares que no sean accesibles al público.
3. Almacenar productos inflamables en cualquier lugar dentro de las instalaciones donde las temperaturas puedan superar los 40 °C debido al calor generado por medios tecnológicos.

§ 5. Las reglas prohibitivas detalladas en el § 4 deberán indicarse de forma clara mediante pictogramas de seguridad de acuerdo con el Código de Bienestar Laboral, en la medida en que tales pictogramas estén disponibles.

Art. 5.17.1.8

§ 1. Sin perjuicio de cualquier otra disposición legal o reguladora relevante, la empresa operadora deberá adoptar todas las medidas requeridas para proteger suficientemente el área circundante contra los riesgos de incendio y explosión.

Una de las implicaciones de esto es que deberá disponerse del equipo contra incendios necesario. El tipo de equipo contra incendios requerido y donde debe guardarse se determinará mediante consulta con el cuerpo de bomberos competente. Esta materia es completamente independiente de la licencia ambiental.

El equipo contra incendios deberá guardarse en un estado de correcto mantenimiento, protegido contra heladas, apropiadamente marcado, fácilmente accesible y situado en posiciones apropiadas. El equipo contra incendios deberá poder desplegarse inmediatamente.

§ 2. En las instalaciones, previa consulta con el cuerpo de bomberos competente, deberá haber la previsión necesaria para impedir que el agua contra incendios contaminada con productos peligrosos de desagüe al suelo, a alcantarillas públicas, o a aguas superficiales o subterráneas. El agua contra incendios contaminada recogida deberá desecharse de un modo apropiado. La capacidad de recogida de agua contra incendios contaminada deberá determinarse mediante consulta con el cuerpo de bomberos competente.

Art. 5.17.1.9

§ 1. Las instalaciones eléctricas, aparatos eléctricos y de iluminación deberán cumplir las exigencias de la Reglamentación General de Seguridad en el Trabajo o la reglamentación general para instalaciones eléctricas, en particular los artículos que se utilicen en espacios en los que pueda originarse una atmósfera explosiva.

§ 2. Sin perjuicio de las disposiciones reguladoras, en zonas donde haya peligro de incendio y explosión debido a la posible presencia accidental de una mezcla explosiva, las instalaciones eléctricas deberán estar diseñadas e instaladas según las condiciones de un plan de división por zonas.

§ 3. Por lo que respecta a instalaciones para las cuales la reglamentación general sobre instalaciones eléctricas no sea aún aplicable, la división por zonas deberá realizarse de acuerdo con las disposiciones del artículo 105 de dicha reglamentación general.

Art. 5.17.1.10

§ 1. Los recipientes previstos para el almacenaje de líquidos muy tóxicos, tóxicos, nocivos o corrosivos con una presión de vapor de más de 13.3 kPa a una temperatura de 35 °C, deberán estar equipados con un sistema eficaz para restringir al mínimo la contaminación atmosférica durante su almacenaje y manejo, como un sistema de recuperación de vapor, un techo flotante, u otro sistema equivalente.

§ 2. En la carga y la descarga de recipientes de almacenaje y/o suministro de camiones o trenes cisterna, barcos cisterna o petroleros que contengan líquidos referidos en el § 1, la contaminación atmosférica deberá restringirse al mínimo.

Art. 5.17.1.11

§ 1. Sin perjuicio de las obligaciones del artículo 7 del título I de la VLAREM, el operador de una instalación de la categoría 1 deberá mantener un registro o archivo de datos alternativo en el cual, por propiedad principal, se especifiquen al menos la naturaleza y las cantidades de los productos peligrosos almacenados. Esta información deberá conservarse de tal modo que sea posible en todo momento determinar las cantidades de productos peligrosos en la instalación.

§ 2. El registro o archivo de datos alternativo referido en el § 1 deberá conservarse disponible in situ para el funcionario inspector, durante un periodo de al menos 1 mes.

Art. 5.17.1.12

Todo el personal en el establecimiento deberá ser totalmente consciente de la naturaleza de los productos peligrosos almacenados y de los peligros implicados. El personal deberá estar bien informado sobre las medidas a adoptar cuando se produzcan irregularidades.

El operador deberá poder demostrar que ha facilitado instrucciones actualizadas según lo requerido al efecto.

Estas instrucciones deberán ser evaluadas por la empresa operadora al menos una vez al año.

### Art. 5.17.1.13

A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, los productos sólidos que sean peligrosos debido a la concentración de sustancias lixiviables según lo especificado en el apéndice 2B y/o en el apéndice 7 del título I de la VLAREM, deberán ser almacenadas sobre una base impermeable equipada con un sistema de recogida para el agua de lluvia posiblemente contaminada.

Los productos muy tóxicos y tóxicos, productos susceptibles de inflamación espontánea, productos que reaccionen con el agua para formar gases combustibles y productos explosivos deberán almacenarse dentro o debajo de un refugio con suelo impermeable.

En cualquier circunstancia, deberán adoptarse las medidas necesarias para impedir que el producto se infiltre o sea liberado en las alcantarillas públicas, una capa freática o un agua superficial.

### Art. 5.17.1.14

§ 1. Deberán adoptarse medidas para asegurar una supervisión eficaz de los distintos espacios e instalaciones de almacenaje de la instalación.

Si la capacidad de almacenaje total en la instalación es de 1 millón de litros de productos P1 y P2 o más, la supervisión deberá ser continua – por personal de seguridad específico o por medio de un sistema de vigilancia permanente equipado con detección eficaz de humo, gas o fuego y que dé la alarma a un servicio de seguridad permanentemente atendido. Todo esto en consulta con el cuerpo de bomberos competente y un experto acreditado en seguridad externa y el riesgo de accidentes graves.

§ 2. Los edificios, depósitos, recintos de contención, terraplenes, aparatos, etc., deberán conservarse en perfecto estado de mantenimiento. Cualquier fallo o defecto que pueda poner en peligro la protección de las personas y el medio ambiente deberá ser subsanado inmediatamente.

### Art. 5.17.1.15

§ 1. Antes de que poder efectuar reparaciones a o inspecciones internas de depósitos que hayan contenido productos P1 y/o P2, la instalación deberá disponer de un procedimiento para tales actividades que haya sido aprobado por el operador o por el jefe del Departamento de Prevención y Protección. Uno de los elementos de dicho procedimiento deberá ser la limpieza del depósito, según un método que ofrezca garantías suficientes tanto en cuanto a seguridad respecto a incendio o explosión, así como protección del medio ambiente.

§ 2. En el taller para la reparación de depósitos de productos P1 y/o P2 no deberán almacenarse productos P1 y/o P2.

### Art. 5.17.1.16

§ 1. La transferencia de productos P1 y/o P2 a receptáculos móviles deberá realizarse al aire libre o en un espacio bien ventilado construido con materiales ininflamables. Deberán adoptarse las medidas necesarias para impedir que se generen cargas electrostáticas peligrosas durante la transferencia. Este lugar o espacio deberá disponer de rótulos según la Reglamentación General para la Seguridad en el Trabajo, que adviertan del peligro de incendio.

§ 2. El suelo del espacio referido en el § 1 debe ser impermeable y compuesto por materiales ininflamables. Deberá estar construido de modo que las sustancias vertidas accidentalmente y las fugas de líquidos desagüen a un dispositivo de recogida y posteriormente sean llevadas a uno o varios pozos de recogida por medio de canales colectores. Este dispositivo de recogida no podrá estar en modo alguno conectado indirecta o directamente a una alcantarilla pública, un agua superficial, una balsa de recogida de agua superficial, una zanja o una capa freática.

§ 3. Si los productos P1 y/o P2 son almacenados en depósitos de superficie, el llenado de los receptáculos móviles deberá realizarse en una zona de llenado adecuada situada a un mínimo de 10 metros de los depósitos o completamente fuera del recinto de contención.

§ 4. Los productos P1 y/o P2 deberán ser manejados de tal modo que se evite el vertido de los líquidos en el suelo.

§ 5. Los productos P1 y/o P2 deberán almacenarse en recipientes cerrados que ofrezcan todas las garantías de hermeticidad. Además, la hermeticidad deberá comprobarse inmediatamente después de su llenado. Los recipientes que resulten defectuosos a este respecto deberán ser inmediatamente vaciados y retirados del espacio donde se produzca el llevado.

§ 6. Las cantidades máximas de productos P1 y/o P2 (número de depósitos móviles, etc.) que pueda haber presentes en los espacios donde se realice el llenado de los depósitos móviles, podrán ser restringidas en la licencia ambiental.

Art. 5.17.1.17

Por lo que respecta al llenado de depósitos fijos y camiones cisterna, se aplica el siguiente reglamento:

1. Deberán adoptarse las medidas necesarias para prevenir vertidos de líquidos y la contaminación del suelo, agua subterránea y agua superficial.
2. La manguera flexible usada para el llenado deberá estar conectada con la abertura del depósito o conducto por medio de un dispositivo con conexión de rosca o un sistema equivalente.
3. Cada operación de llenado deberá ser realizada bajo la supervisión del operador o una persona por él designada; dicha supervisión deberá organizarse de tal modo que la operación de llenado pueda ser monitorizada y que pueda adoptarse una acción inmediata en caso de incidente.
4. Para evitar el sobrellenado, todos los depósitos fijos deberán estar equipados con una protección contra sobrellenado, que podrá ser:
  - a) Un sistema de advertencia, que dé una señal acústica que el proveedor siempre debe ser capaz de oír en la zona de llenado y que informa al proveedor que el depósito a llenar está lleno al 95 %; este sistema puede ser mecánico o electrónico.
  - b) O un sistema de seguridad, que automáticamente cierre el flujo de producto cuando el depósito a llenar está lleno como máximo a un 98 %; este sistema puede ser mecánico o electrónico.
  - c) En instalaciones de almacenaje que formen parte de una instalación de distribución de combustible para vehículos a motor, debe usarse un sistema de seguridad del tipo indicado en b).
5. Todos los depósitos deberán estar equipados con la posibilidad de medición de nivel.
6. La posición de llenado del camión cisterna, las zonas en las que estén agrupadas las boquillas de las mangueras de llenado y las zonas de llenado en la instalación de distribución deberán estar siempre situadas en las dependencias de la instalación, y deberán:
  - a) Tener un suelo con suficiente resistencia e impermeable;
  - b) Disponer de la inclinación necesaria y posiblemente con bordes verticales para asegurar que todos los líquidos vertidos desagüen a un sistema de recogida; la eliminación de los líquidos recogidos se realizará de acuerdo con las normativas aplicables, particularmente las relativas al desecho de materias residuales;

Para productos P1 y P2, esta posición de llenado y estas zonas deberán estar siempre situadas al aire libre o bajo una cubierta;

No deberá haber zanjas, espacios de circulación o salas debajo de la posición de llenado y zonas indicadas; en caso de que haya básculas, deberá haber previsión para limitar la extensión de fugas y evitar cualquier riesgo de explosión;

Las disposiciones de este párrafo no son aplicables a las zonas de almacenaje de productos destinados únicamente a la calefacción de las naves.
7. Durante el llenado de productos P1 o P2, deberán adoptarse medidas para desviar la electricidad estática; la conexión eléctrica entre el camión cisterna y el depósito deberá hacerse antes de iniciar la operación de llenado, y sólo podrá interrumpirse cuando la manguera de llenado haya sido desconectada, una vez finalizado el llenado;
8. Deberán tomarse medidas adecuadas para mantener el almacenaje a presión atmosférica; Las conducciones de ventilación subterránea y de recuperación de vapor deberán cumplir los mismos requisitos que el resto de las conducciones; además, las conducciones de ventilación por encima del suelo deberán tener suficiente resistencia mecánica.

9. Se prohíbe llenar un depósito con otro líquido que no sea el previsto para el depósito, a menos que una inspección de un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, o un experto autorizado dictamine que el depósito en cuestión es también adecuado para ese otro líquido.

### Art. 5.17.1.18

La protección contra sobrellenado descrita en el apéndice 5.17.7 deberá estar fabricada de acuerdo con un código de buenas prácticas aceptado por un experto ambiental acreditado en la especialidad de depósitos para gases o sustancias peligrosas.

El control de la construcción deberá estar realizado conforme al código seleccionado de buenas prácticas por un experto ambiental acreditado en depósitos para gases o sustancias peligrosas.

El control de la construcción de los dispositivos de protección contra sobrellenado fabricados en serie podrá limitarse a la aprobación de un solo prototipo. La aprobación del prototipo deberá ser realizada por uno de los expertos ambientales ya mencionados y de acuerdo con el procedimiento del apéndice 5.17.7.

El informe deberá especificar los controles realizados y deberá ser firmado por el citado experto.

Para cada dispositivo de protección contra sobrellenado, el operador deberá disponer de un certificado firmado por el constructor. Este certificado deberá indicar el número del certificado de aprobación de prototipo y el nombre del experto ambiental que emitió el certificado de prueba (y su número de acreditación). El constructor también deberá confirmar en el certificado que la protección contra sobrellenado ha sido construida y controlada de acuerdo con las disposiciones del título II de la VLAREM.

### Art. 5.17.1.19

§ 1. Los peróxidos orgánicos que puedan explotar o detonar en una reacción térmica violenta deberán ser conservados en las instalaciones a una temperatura inferior a la temperatura que desde el punto de vista de seguridad sea la temperatura máxima permisible según la naturaleza de la sustancia en cuestión. Para las sustancias indicadas a continuación, esta temperatura máxima es:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1. peróxido de acetil ciclohexano sulfonilo:       | -10° C               |
| 2. peróxido de ácido succínico:                    | +10° C               |
| 3. peroxiisopropilcarbonato de tert-butilo (BPIC): | temperatura ambiente |
| 4. peroxipivalato de tert-butilo:                  | -10° C               |
| 5. peróxido de dibenzoilo:                         | temperatura ambiente |
| 6. peroxidicarbonato de dicitlohexilo:             | +5° C                |
| 7. peroxidicarbonato de diisopropilo:              | -15° C.              |

§ 2. Los peróxidos que por motivos de seguridad deban mantenerse en la instalación a una temperatura inferior a la temperatura ambiente, deberán almacenarse:

1. En refrigeradores o congeladores situados en la nave de producción, en cuyo caso cada refrigerador o congelador podrá contener una cantidad máxima de 30 kg de peróxidos orgánicos no refrigerados.
2. O en refrigeradores o congeladores situados en un almacén separado en el que sólo se almacenen dichos peróxidos. En este caso cada refrigerador o congelador podrá contener una cantidad máxima de peróxidos orgánicos no refrigerados de 150 kg.
3. O en una cámara frigorífica separada que se utilice únicamente para este fin. En este caso, a menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, por cámara frigorífica podrá almacenarse una cantidad máxima de peróxidos orgánicos no refrigerados de 500 kilogramos.

### Art. 5.17.1.20

Por lo que respecta a los certificados de construcción, inspecciones y pruebas prescritas en este capítulo, el operador deberá disponer de certificados en los que se indique claramente la aplicación de los códigos de buenas prácticas, los controles realizados y las observaciones relevantes. Los certificados correspondientes deberán conservarse en todo momento a disposición del funcionario supervisor.

### Art. 5.17.1.21

Sin perjuicio de las disposiciones del presente capítulo, el transporte, la instalación y conexión de los depósitos deberá realizarse conforme a las normas belgas o europeas en vigor.

## Sección 5.17.2 Almacenaje de líquidos peligrosos en depósitos subterráneos

### Art. 5.17.2.1

§ 1. Deberán adoptarse las medidas necesarias para dar la máxima protección a los depósitos contra daño mecánico y corrosión.

§ 2. Se prohíbe colocar depósitos previstos para el almacenaje de productos P1 y/o P2 directamente bajo un edificio o bajo una proyección vertical de una nave. Una inclinación no se considera una nave.

§ 3. La distancia entre el depósito y los límites de otros bultos deberá ser de al menos 3 metros. La distancia entre el depósito y el espacio de sótano de las naves propias de la compañía deberá ser al menos de 2 m. La distancia entre el depósito y la pared de las naves propias de la instalación deberá ser de al menos 0,75 m. La distancia entre los propios depósitos deberá ser de al menos 0,5 ms. La distancia entre depósitos de productos P3 y/o P4 que no formen la parte de una instalación de distribución y los límites de otros bultos deberá ser de al menos 1 m.

§ 4. En caso de posible inundación o altos niveles de agua, deberá existir la previsión necesaria para evitar que los depósitos vacíos floten hacia arriba.

§ 5. Sin perjuicio de los requisitos detallados en esta sección, las instalaciones de almacenaje de gasolina y sus instalaciones asociadas deberán cumplir las disposiciones de la sección 5.17.4.

### Art. 5.17.2.2

§ 1. Deberá existir un aviso en un lugar claramente visible junto al depósito de acuerdo con las disposiciones del apéndice 5.17.2.

§ 2. Deberá mostrarse la siguiente información cerca de la abertura de llenado y cerca de la boca de inspección:

1. El número del depósito.
2. El nombre o los números o letras del código del líquido almacenado.
3. Los símbolos de peligro.
4. La capacidad de contenido de agua del recipiente.

La información deberá ser claramente legible.

Las disposiciones de este párrafo no son aplicables a instalaciones de almacenaje para productos P3 y/o P4 que sólo se destinen a la calefacción de edificios.

### Art. 5.17.2.3

§ 1. El tubo de evacuación deberá abrirse a la atmósfera libre al menos 3 metros por encima del nivel del suelo y a una distancia mínima de 3 metros de cada abertura en un espacio y de los límites de otros bultos. Las salidas de los tubos de ventilación no deberán estar situadas bajo elementos de construcción como, p.ej. voladizos de tejados.

§ 2. Las disposiciones del § 1 no son aplicables a tubos de ventilación correspondientes a instalaciones de almacenaje para productos P3 y/o P4 que no formen parte de una instalación de distribución de combustible para automóviles. Para estas instalaciones de almacenaje deberá asegurarse que el lugar y la altura de salida del tubo de evacuación no causen molestias excesivas en la vecindad, en particular a consecuencia del llenado de los depósitos.

§ 3. Para el almacenaje de productos P1 y/o P2, el suministro de aire y el sistema de evacuación deberán estar cerrados por un dispositivo que evite la propagación del fuego.

### Art. 5.17.2.4

§ 1. El almacenaje en depósitos directamente soterrados sólo se permite en:

1. Depósitos metálicos de doble pared que hayan sido fabricados según las disposiciones del apéndice 5.17.2.
2. Depósitos de fibras sintéticas termofijadas reforzadas que hayan sido fabricados según las disposiciones del apéndice 5.17.2.
3. Depósitos de acero inoxidable que hayan sido fabricados de acuerdo con un código de buenas prácticas aceptado por un experto ambiental, acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, o aceptado por un experto competente.
4. Un sistema de almacenaje que proporcione las mismas garantías de prevención de contaminación del suelo y/o agua subterránea que los citados depósitos.

Este sistema de almacenaje deberá ser aprobado por un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas; un certificado de esta aceptación deberá ser preparado y firmado por dicho experto ambiental; este certificado deberá conservarse disponible para su lectura por parte del funcionario supervisor; el operador deberá enviar una copia del certificado al Departamento de Licencias Ambientales.

**§ 2.** Todos los depósitos deberán disponer de un sistema de detección de fugas permanente. Esta obligación no es aplicable a recipientes de fibras sintéticas termofijadas reforzadas o acero inoxidable situados fuera de una zona de extracción de agua o una zona protegida, y cuya capacidad individual de contenido de agua ascienda a menos de 5000 l, o menos de 10000 l si estos depósitos son para el almacenaje de productos P3 y/o P4.

El sistema de detección de fugas deberá detectar una fuga dentro de un espacio intersticial formado por una cubierta adicional interna o externa, sólida o flexible e impermeable, o por una capa impermeable en las paredes y el fondo de la excavación, y deberá cumplir las disposiciones correspondientes del apéndice 5.17.3.

**§ 3.** Para la instalación de un depósito metálico con una cuya capacidad individual de contenido de agua de 5000 l, o para el almacenaje de productos P3 y/o P4, de 10000 l y sus conductos asociados:

1. En una zona de extracción de agua o una zona protegida del tipo I o II, o
2. En una zona circundante a conductores eléctricos donde las corrientes pueda haber presentes corrientes de fuga, la corrosividad del suelo y del relleno deberá ser especificada y clasificada por un experto ambiental acreditado en el campo de corrosividad del suelo según el método indicado en el apéndice 5.17.5.

Aquí deberá clasificarse la corrosividad del suelo en el punto más profundo en el lugar donde vaya a instalarse el depósito metálico –o del relleno– como “poco corrosivo”, “moderadamente corrosivo”, “corrosivo” o “muy corrosivo”.

La determinación de la corrosividad no podrá realizarse en circunstancias extremas de sequía o helada.

Las disposiciones de este párrafo pueden ser desestimadas si la corrosividad del suelo y del relleno ya ha sido determinada durante los cinco años anteriores, o cuando sin una investigación previa de la corrosividad del suelo se aplique protección catódica. La aplicación de esta protección catódica deberá realizarse bajo la supervisión de un experto ambiental acreditado en el campo de corrosión del suelo.

**§ 4.** Protección catódica:

1. Si el resultado de la inspección mencionada en el § 3 es “corrosivo” o “muy corrosivo”, deberá aplicarse protección catódica.
2. Si el resultado del examen mencionado en el § 3 es “moderadamente corrosivo”, en principio puede decirse no instalar la protección catódica. En este caso deberá realizarse la monitorización de la corrosión basada en mediciones de potenciales permanentes o periódicas; con una medición de potencial más positiva que  $-500$  mV en comparación con un electrodo de referencia de Cu/CuSO<sub>4</sub>, que indica la posible presencia de corrosión o corrientes de fuga, será necesario aplicar protección catódica.
3. Si el resultado de la inspección especificada en el § 3 es “poco corrosivo” y el depósito está suficientemente recubierto, la protección catódica no será necesaria.

La protección catódica deberá llevar toda la superficie del depósito, incluidos los conductos metálicos (si es necesario), a un potencial de  $-850$  mV o un valor negativo mayor medido con respecto a un electrodo de referencia de Cu/CuSO<sub>4</sub>. En suelos anaerobios, su potencial deberá ascender al menos a  $-950$  mV.

**§ 5.** Los depósitos deberán estar cubiertos por una capa de tierra, arena u otro material inerte adaptado de un mínimo de 50 cm de espesor.

Deberán adoptarse medidas para evitar el paso de vehículos o el almacenaje de mercancías encima de los depósitos, a menos que éstos estén protegidos por un suelo ininflamable y suficientemente resistente.

Art. 5.17.2.5

§ 1. El almacenaje en depósitos situados en una zanja sólo se permitirá en:

1. Depósitos metálicos de paredes simples o dobles fabricados según las disposiciones del apéndice 5.17.2
2. Depósitos de fibras sintéticas termofijadas reforzadas fabricados según las disposiciones del apéndice 5.17.2.
3. Depósitos de acero inoxidable fabricados según un código de buenas prácticas hayan sido aprobados por un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, o por un experto competente.
4. Un sistema de almacenaje que proporcione las mismas garantías de prevención de contaminación del suelo y/o el agua subterránea que los citados depósitos; este sistema de almacenaje deberá ser aprobado por un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas; un certificado de tal aceptación deberá ser preparado y firmado por dicho experto ambiental; este certificado deberá conservarse disponible para su lectura por parte del funcionario supervisor; el operador deberá enviar una copia del certificado al Departamento de Licencias Ambientales.

§ 2. Todos los depósitos deberán disponer de un sistema de detección de fugas permanente. Esta obligación no es aplicable a recipientes de fibras sintéticas termofijadas reforzadas o acero inoxidable situados fuera de una zona de extracción de agua o una zona protegida, y cuya capacidad individual de contenido de agua ascienda a menos de 5000 l, o menos de 10000 l si estos depósitos son para el almacenaje de productos P3 y/o P4.

El sistema de detección de fugas deberá cumplir las disposiciones correspondientes del apéndice 5.17.3.

§ 3. La zanja deberá estar construida según las disposiciones del apéndice 5.17.6. Las paredes no podrán traspasar ningún límite de propiedad.

§ 4. En el punto más bajo de la zanja debe haber la previsión necesaria para poder registrar y retirar todo escape de líquido o agua.

§ 5. Se prohíbe dar a la zanja cualquier otra aplicación que la de espacio de almacenaje para los depósitos. Por la zanja sólo podrán pasar los conductos requeridos para el funcionamiento de los depósitos en ella situados.

§ 6. Si el depósito tiene un contenido superior a 2000 l, deberá haber un espacio libre alrededor del depósito de al menos 50 cm de ancho para permitir la inspección del depósito.

§ 7. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, el relleno en de la zanja es obligatorio para el almacenaje de productos P1 y/o P2.

Si la zanja se llena, entre el contenedor y la pared de la zanja deberá haber una distancia de al menos 30 cm, y deberán tenerse en cuenta las disposiciones del apéndice 5.17.6 al respecto.

§ 8. Deberán adoptarse medidas para evitar el paso de vehículos o el almacenaje de mercancías encima de la zanja, a menos que ésta esté protegida por un suelo ininflamable y suficientemente resistente.

§ 9. Una construcción prefabricada, consistente en un depósito cilíndrico de cemento en el cual se coloca un depósito metálico de una sola pared, sólo estará permitida para el almacenaje de productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios con una capacidad de contenido de agua máximo de 5300 l y si el depósito metálico y el depósito cilíndrico de cemento prefabricado han sido construidos como un prototipo aceptado por un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas o por un experto competente.

Art.5.17.2.6

§ 1. La monitorización de la construcción deberá realizarse de acuerdo con las disposiciones del apéndice 5.17.2.

La monitorización de depósitos construidos separadamente será realizada por un experto ambiental acreditado en el en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas o por un experto competente.

El control de los recipientes instalados en serie puede limitarse a un prototipo. La aprobación de prototipo deberá ser realizada por un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, o cuya acreditación permita la aprobación de prototipos. El informe de dicha aprobación deberá indicar los controles realizados y deberá estar firmado por el citado experto.

**§ 2.** Para cada depósito, la empresa operadora deberá disponer de una “declaración de conformidad del depósito” firmada por el constructor, redactada según el formulario del apéndice 5.17.2. Los depósitos deberán llevar una placa de identificación aplicada por el constructor.

### Art. 5.17.2.7

Antes de la instalación del depósito, directamente en el suelo o en una zanja, deberá comprobarse si el depósito, y si procede también la zanja, cumple las condiciones de esta reglamentación. Tras la instalación, pero antes del uso del depósito, deberá comprobarse si el depósito, sus conductos y accesorios, sistema de alerta de sobrellenado o de seguridad y, si procede, la protección catódica y la previsión de recuperación de vapor, cumplen con las condiciones de esta reglamentación. Los controles especificados deberán realizarse bajo la supervisión de un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas o un experto competente, o de un técnico acreditado para el almacenaje de productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios. La monitorización de la protección catódica deberá realizarse en colaboración con un experto medioambiental acreditado en el campo de corrosividad del suelo.

### Art. 5.17.2.8

**§ 1.** Al menos una vez al año para depósitos situados en zonas de extracción de agua y zonas protegidas, y cada dos años para depósitos situados en otras zonas, la instalación deberá ser sometida a una inspección limitada, incluyendo si procede:

1. Examen del anterior informe o certificado.
2. Comprobación del buen estado de la protección contra sobrellenado.
3. Comprobación de la presencia de agua y lodo en los depósitos de una sola pared para combustibles líquidos (apéndice 5.17.4)
4. Inspección de la contaminación observable de forma visible u organoléptica en la superficie exterior del depósito (apéndice 5.17.4)
5. Examen del estado de las partes externas visibles del recipiente, válvulas, conductos, bombas, etc.
6. Comprobación de la eficacia de la protección catódica o monitorización de corrosión.
7. Comprobación de la eficacia del sistema de detección de fugas.
8. Comprobación de la eficacia de las previsiones para la recuperación de vapor.

**§ 2.** Excepto para depósitos de fibras sintéticas termofijadas reforzadas, al menos cada 10 años para depósitos situados en una zona de extracción de agua y zonas protegidas, y cada 15 años para depósitos situados en otras zonas, la instalación deberá ser sometida a una inspección general, que comprenderá:

1. El examen limitado especificado en el § 1.
2. El estado de la pared interna por si se observa una presencia importante de agua o lodo; si se requiere una inspección interna, el depósito deberá limpiarse internamente; en la medida en que sea técnicamente posible, deberán investigarse la pared interna y las partes internas del depósito, y si procede deberá realizarse una inspección no destructiva para determinar el espesor de pared del depósito.
3. El estado del revestimiento externo, en la medida en que sea técnicamente posible y sin tener que exponer el depósito para ello.
4. Cuando sea apropiado, en particular en la situación descrita en el artículo 5.17.2.4, § 3, la detección posible corrosión en base a una medición de potencial y una medición de la corrosividad del suelo adyacente.
5. Una prueba de estanqueidad en los depósitos directamente soterrados a una sobrepresión de al menos 30 kPa durante un periodo mínimo de 1 hora o a una infrapresión de máximo 30 kPa; la prueba a una sobrepresión de más de 30 kPa sólo podrá realizarse si los depósitos se llenan completamente de agua para ello;

Los conductos de agua de pared simple no accesibles deberán probarse a una sobrepresión de al menos 30 kPa durante un periodo de 1 hora;

También se permite una prueba de estanqueidad equivalente, realizada según un código de buenas prácticas aceptado por el Departamento de Licencias Ambientales.

**§ 3.** Los exámenes periódicos, referidos en los § 1 y § 2, deberán ser realizados por un experto acreditado en el campo de recipientes para gases o sustancias peligrosas, por un experto competente, o por un técnico acreditado en instalaciones de almacenaje para productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios. La inspección con respecto a la corrosión y la protección deberá realizarse en colaboración con un experto medioambiental acreditado en el campo de corrosividad del suelo.

#### Art. 5.17.2.9

Tras las inspecciones descritas en el artículo 5.17.2.7 con la instalación y/o las investigaciones periódicas referidas en el artículo 5.17.2.8, los expertos o el técnico acreditado elaborarán un certificado en el que se indicará de forma clara si la instalación cumple o no las condiciones de este reglamento. El citado certificado de conformidad también deberá indicar el nombre y el número de acreditación del experto o técnico que haya realizado la inspección.

Luego aplicará un adhesivo claramente legible a la manguera de llenado, en el que se indicará su número de acreditación, el año y el mes de la inspección de la instalación y la última inspección realizada.

El adhesivo o placa debe tener el siguiente color:

1. Verde, si el depósito y la instalación cumplen las disposiciones de este reglamento.
2. Naranja, si el depósito y la instalación no cumplen las disposiciones de este reglamento, pero los fallos observados no pueden causar contaminación fuera del depósito.
3. Rojo, si el depósito y la instalación no cumplen las disposiciones de este reglamento y los fallos observados pueden producir o han producido contaminación fuera del depósito.

#### Art. 5.17.2.10

Sólo los depósitos cuyo tubo de llenado tenga una etiqueta adhesiva o placa verde, según se indica en el artículo 5.17.2.9, podrán ser llenados, rellenados y utilizados.

Los depósitos cuyo tubo de llenado tenga una etiqueta adhesiva o placa naranja, según se indica en el artículo 5.17.2.9, podrán ser llenados o rellenados durante un periodo de transición de un máximo de 6 meses a partir del primer día del mes siguiente al mes indicado en la etiqueta adhesiva o placa naranja. En este caso deberá realizarse un nuevo control antes del vencimiento del plazo indicado.

Los depósitos cuyo tubo de llenado tenga una etiqueta adhesiva o placa roja, según se indica en el artículo 5.17.2.9, no podrán en ningún caso llenarse o rellenarse.

#### Art. 5.17.2.11

**§ 1.** Los siguientes se considerarán depósitos existentes para el almacenaje de productos P1, P2, P3 o P4:

1. Los depósitos cuya operación dispusiera de licencia el 1 de enero de 1993 o cuya solicitud para la renovación de la licencia ambiental estuviera siendo tramitada en la citada fecha por las autoridades competentes
2. Los depósitos que el 1 de septiembre de 1991 hubieran entrado ya en uso y en aplicación del título I de la Reglamentación General para la Seguridad en el Trabajo no fueran clasificados como instalaciones peligrosas, insalubres o que producen molestias.
3. Los depósitos cuya notificación se hubiera producido antes del 1 de julio de 1993 de acuerdo con las provisiones de Título I de la VLAREM

Estos depósitos siguen siendo depósitos existentes, también en cuanto a la renovación de la licencia ambiental.

**§ 2.** Los depósitos existentes para el almacenaje productos fuera de las categorías P1, P2, P3 o P4 son depósitos cuya operación dispusiera de licencia el 1 de mayo de 1999 o cuya solicitud para la renovación de la licencia ambiental estuviera siendo tramitada en la citada fecha por las autoridades competentes.

Estos depósitos siguen siendo depósitos existentes, también con la renovación de la licencia ambiental.

§ 3. La distancia y las reglas prohibitivas, así como las disposiciones de esta sección acerca del método de construcción y la instalación de los depósitos, los conductos asociados y el punto de llenado no son aplicables a depósitos existentes.

§ 4. La inspección general según se indica en el artículo 5.17.2.8, § 2 deberá realizarse por primera vez no más tarde de las fechas mencionadas en la tabla inferior, según el emplazamiento, la naturaleza del líquido almacenado y la categoría.

		<b>Situación respecto a zonas de extracción de agua o zonas protegidas</b>	
<b>Producto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Dentro</b>	<b>Fuera</b>
P1, P2	1, 2, 3	1 agosto 1997	1 agosto 1999
P3, P4	1, 2	1 agosto 1997	1 agosto 1999
P3, P4	3	1 agosto 1998	1 agosto 2000
Otros	1, 2, 3	1 agosto 2002	1 enero 2003

En previsión de esta inspección general los depósitos pueden seguir siendo usados.

Antes de las mismas fechas deberá realizarse una inspección de corrosión de acuerdo con el artículo 5.17.2.4, § 3 en los siguientes depósitos metálicos soterrados con una capacidad de contenido de agua individual de 5000 l, o aquellos para el almacenaje de productos P3 y/o P4 de 10000 l, así como los conductos asociados:

1. Depósitos de pared simple.
2. Depósitos de doble pared dentro de una zona de extracción de agua o una zona protegida del tipo I y II.
3. Depósitos de doble pared dentro del área circundante de conductores eléctricos donde pueda haber presentes fugas de corriente importantes.

A partir de la fecha de la primera inspección general, deberán realizarse exámenes periódicos según las disposiciones del artículo 5.17.2.8 y 5.17.2.9.

§ 5. Sin perjuicio de las condiciones particulares impuestas en la licencia ambiental, los depósitos deberán cumplir las disposiciones de este capítulo, no más tarde de las fechas indicadas en la tabla inferior, en relación con :

1. Alerta de sobrellenado o sistema de seguridad
2. Detección de fugas
3. Protección catódica.

		<b>Situación respecto a zonas de extracción de agua o zonas protegidas</b>	
<b>Producto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Producto</b>	<b>Categoría</b>
P1, P2	1, 2, 3	1 agosto 1998	1 agosto 2000
P3, P4	1, 2	1 agosto 1998	1 agosto 2000
P3, P4	3	1 agosto 1999	1 agosto 2001
Otros	1, 2, 3	1 enero 2003	1 enero 2005

§ 6. En la sustitución de los depósitos referidos en el § 1 o § 2, el nuevo depósito deberá cumplir todas las condiciones de este reglamento, excepto las relativas a las estipulaciones de distancias a observar.

§ 7. Para instalaciones de almacenaje que formen parte de una instalación de distribución de combustible para automóviles, no será necesario cumplir las disposiciones del § 5, según lo dispuesto en el artículo 5.17.5.7.

Art. 5.17.2.12

§ 1. Si se observan fugas, el operador tomará todas las medidas requeridas para evitar el peligro de explosión y restringir la contaminación adicional del suelo y del agua subterránea en la medida de lo posible.

§ 2. Después de que se hayan realizado reparaciones, el depósito sólo podrá volver al uso una vez haya sido sometido con éxito a una prueba de estanqueidad según lo especificado en el artículo 5.17.2.8.

§ 3. En el descarte final para el uso de un depósito, sea o no debido a fugas, el depósito deberá ser vaciado, limpiado y retirado dentro de un período de 36 meses sin perjuicio de las disposiciones del decreto de 2 de julio de 1981 acerca de la prevención de residuos y la gestión de materiales de desecho y sus decisiones de aplicación.

En caso de imposibilidad material de retirada, dentro del mismo plazo, tras consulta con un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, con un experto competente, o con un técnico acreditado en el almacenaje de productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios, el contenedor deberá ser vaciado, limpiado y llenado de arena, espuma o un material inerte equivalente. Aquí deberán tomarse las medidas necesarias relativas a la seguridad contra explosión y prevención de la contaminación del agua subterránea.

§ 4. Las fugas de líquidos que hayan causado contaminación del suelo o vertido en el sistema de alcantariado, las aguas superficiales, las capas freáticas o propiedades adyacentes deberán ser inmediatamente reportadas por el operador al Departamento de Inspección Ambiental, al Gobernador de la Provincia y al Alcalde de la localidad.

**Sección 5.17.3 Almacenaje de líquidos peligrosos en depósitos sobre el nivel del suelo**

Art. 5.17.3.1

§ 1. Los depósitos deberán estar colocados dentro o encima de un recinto de contención, a fin de prevenir la extensión de fuego, y prevenir la contaminación del agua subterránea y/o del suelo. En la licencia ambiental pueden estar permitidos sistemas de recolección equivalentes.

Los depósitos de doble pared equipados con un sistema de detección de fugas permanente no es necesario que estén colocados dentro o encima de un recinto de contención.

§ 2. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, se prohíbe el almacenaje de productos P1 y/o P2 en depósitos fijos en sótanos o espacios por encima del nivel del suelo. Se prohíbe disponer instalaciones de almacenaje para productos P1 y/o P2 en receptáculos móviles en suelos de sótanos.

Art. 5.17.3.2

§ 1. Los depósitos fijos deberán estar contruidos según las disposiciones del apéndice 5.17.2.

§ 2. Todas las partes metálicas de los depósitos previstos para el almacenaje de productos P1 y/o P2, incluido el techo flotante de los depósitos, deberán ser equipotenciales.

Art. 5.17.3.3

§ 1. El control de la construcción de depósitos fijos debe realizarse según las disposiciones del apéndice 5.17.2.

El control de depósitos contruidos por separado debe ser realizado por un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas o por un experto competente.

El control de depósitos instalados en serie puede estar limitado a un prototipo; la aprobación del prototipo será realizada por un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, cuya acreditación permita la aprobación de prototipos.

El informe en esta aprobación deberá indicar los controles realizados y deberá ser firmado por el citado experto.

§ 2. Para cada depósito el operador deberá disponer de una “declaración de conformidad del contenedor” firmado por el constructor, preparado según el formulario del apéndice 5.17.2.

Los depósitos deberán llevar la placa de identificación aplicada por el constructor.

### Art. 5.17.3.4.

Antes de la instalación del depósito fijo, deberá comprobarse que el depósito y/o los cimientos cumplan las condiciones de esta reglamentación.

Después de la instalación, pero antes de que el depósito entre en uso, deberá comprobarse si el depósito, sus conductos y accesorios, la alerta de sobrellenado o sistema de seguridad, el recinto de contención y los recursos contra incendios y, si procede, el sistema de detección de fugas y las disposiciones para la recuperación de vapor cumplen las condiciones de esta reglamentación.

Los controles especificados deberán ser realizados bajo la supervisión de un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, o un experto competente para el almacenaje de productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios, o un técnico acreditado.

### Art. 5.17.3.5

§ 1. Deberá aplicarse una placa de identificación a los depósitos fijos en un lugar visible y fácilmente accesible de acuerdo con las disposiciones del apéndice 5.17.2.

§ 2. Deberán aplicarse las indicaciones siguientes cerca de la abertura de llenado y en un lugar claramente visible del depósito fijo:

1. El número del depósito
2. El nombre o los números o letras del código del líquido almacenado
3. Los símbolos de peligro
4. La capacidad de contenido de agua del depósito.

Las disposiciones de este párrafo no son aplicables a instalaciones de almacenaje para productos P3 y/o P4 que sólo estén destinados a la calefacción de edificios.

§ 3. En los receptáculos móviles deberá aplicarse el nombre del producto, indicando su propiedad principal.

### Art. 5.17.3.6

§ 1. El recinto de contención y los cimientos para depósitos fijos con una capacidad de contenido de agua individual de 10000 l deberán estar contruidos según un código de buenas prácticas bajo la supervisión y según las directrices de un arquitecto, un arquitecto de ingeniería civil, un ingeniero civil o un ingeniero industrial.

Para instalaciones de almacenaje de la categoría 1 o 2, el citado experto confirmará en un certificado que él acepta el código de buenas prácticas usado y que el mismo ha sido respetado.

§ 2. Los depósitos fijos deberán ir colocados sobre un bloque o superficie de soporte de dimensiones suficientes para impedir que la carga cause depresiones irregulares, de las que podría derivarse un peligro de derribo o rotura. Para la instalación de depósitos con una capacidad de contenido de agua individual de 50000 l, deberá realizarse un estudio de estabilidad por el experto especificado en §1.

§ 3. El recinto de contención deberá ser resistente a la acción de los líquidos almacenados e impermeable. El recinto de contención deberá ser suficientemente fuerte para resistir la masa líquida que pudiera escaparse en caso de la rotura del depósito de mayor tamaño situado en el recinto.

El suelo deberá estar previsto de tal modo que los líquidos vertidos se desparramen lo mínimo posible y puedan ser retirados fácilmente.

§ 4. Si el recinto de contención está hecho con presas de tierra, estas presas deberán ser de una tierra muy arcillosa, sólida y fuertemente comprimida, con declives máximos de 4/4 y un espesor en el lado superior de al menos 50 centímetros. El suelo podrá ser de los mismos materiales. Las presas deberán estar sembradas

con hierba. En la base podrán construirse paredes de apoyo cuidadosamente calculadas con una altura máxima de un metro.

**§ 5.** El paso de conducciones por recinto de contención sólo se permitirá si está garantizada la estanqueidad del recinto.

**§ 6.** Si el recinto de contención tiene una anchura de más de 30 metros, deberán instalarse escalerillas o escaleras de emergencia de modo que una persona para huir no tuviera que recorrer una distancia mayor de la mitad de la anchura del recinto más 15 metros para alcanzar una escalerilla o la escalera de emergencia.

#### Art. 5.17.3.7

**§ 1.** Para instalaciones de almacenaje en depósitos fijos o receptáculos móviles localizados dentro de un área de extracción de agua y/o zona protegida, la capacidad mínima del recinto deberá ser igual a la capacidad de contenido de agua total de todos los depósitos y/o receptáculos en él situados.

**§ 2.** Para instalaciones de almacenaje en depósitos fijos o receptáculos móviles localizados fuera de un área de extracción de agua y/o zona protegida, la capacidad mínima del recinto deberá determinarse como sigue (no se incluyen los depósitos de doble pared equipados con un sistema de detección de fugas):

1. Para el almacenaje de productos P1, P2, muy tóxicos, tóxicos y explosivos, los mayores de los valores siguientes:
  - a) La capacidad de contenido de agua del contenedor más grande, aumentada en un 25 % de la capacidad total de contenido de agua total de los demás depósitos del recinto;
  - b) La mitad de la capacidad total de contenido de agua de los depósitos allí situados;
2. Para el almacenaje de productos P3, nocivos, irritantes, oxidantes, corrosivos y perjudiciales para el medio ambiente: la capacidad de contenido de agua del depósito más grande;
3. Para el almacenaje de productos P4 y gasóleo de calefacción extra pesado, independientemente del punto de inflamación: sólo se requiere la presencia de un borde vertical.
4. Para el almacenaje de productos P1 y/o P2 en espacios por encima del nivel del suelo y sótanos: la capacidad total de contenido de todos los depósitos allí situados.

Para el almacenaje de productos con diversas propiedades principales, deberá respetarse la reglamentación más estricta. Aquí deberá también tenerse en consideración el punto de inflamación.

**§ 3.** Para instalaciones de almacenaje situadas fuera de un área de extracción de agua y/o zona protegida para productos que no sean P1 y/o P2 en receptáculos móviles, la capacidad del recinto de contención se limitará al 10 % de la capacidad total de contenido de agua de los receptáculos allí situados. En cualquier caso, la capacidad del recinto deberá ser al menos igual a la capacidad del receptáculo de mayor tamaño situado en el recinto.

**§ 4.** Para instalaciones de almacenaje situadas fuera de un área de extracción de agua y/o zona protegida para productos P1 y/o P2 en receptáculos móviles, la capacidad del recinto de contención se limitará al 25 % de la capacidad total de contenido de agua de los receptáculos allí situados. La capacidad podrá reducirse al 10 % si, tras consulta con el cuerpo de bomberos competente, se dispone de una instalación contra incendios adecuada. En cualquier caso, la capacidad del recinto deberá ser al menos igual a la capacidad del receptáculo de mayor tamaño situado en el recinto.

#### Art. 5.17.3.8

A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, la distancia entre los depósitos deberá ser al menos 0,5 ms, y entre los depósitos y las paredes interiores del recinto de contención o la parte inferior de las presas al menos la mitad de la altura de los depósitos.

Esta última obligación no se aplicará:

1. Para el almacenaje de líquidos peligrosos en depósitos de doble pared o depósitos con revestimiento de anillo o protección similar que asegure que cualquier líquido escapado se quede dentro del recinto, o

2. Para el almacenaje de productos P4 o gasóleo de calefacción extra pesado, independientemente del punto de inflamación.

### Art. 5.17.3.9

Sin perjuicio de otras disposiciones de este reglamento, las instalaciones de almacenaje para productos P1 y/o P2 en receptáculos móviles deben cumplir las condiciones siguientes:

1. El almacenaje deberá estar protegido contra las consecuencias perjudiciales de la acción de los rayos del sol o la radiación de cualquier otra fuente de calor
2. El almacenaje de productos P1 y/o P2 junto con otros líquidos se permitirá siempre que estos últimos líquidos no aumenten el riesgo de accidente o los riesgos asociados.
3. Las instalaciones de almacenaje en una nave se construirán según lo prescrito en el artículo 52 de la Reglamentación General para la Seguridad en el Trabajo.
4. Las instalaciones de almacenaje fuera de naves construidas expresamente para el almacenaje de estos líquidos y que no cumplan las disposiciones del artículo 52 de la Reglamentación General para la Seguridad en el Trabajo deberán estar a un mínimo de 10 m de cualquier construcción vecina.
5. Las puertas de las instalaciones de almacenaje cerradas se abrirán hacia fuera y serán de cierre automático; en puertas partidas, 1 puerta deberá permanecer continuamente cerrada con llave; la otra puerta deberá ser de cierre automático; las puertas podrán permanecer temporalmente abiertas si así se requiere por motivos de operaciones técnicas. En caso de incendio también deberán cerrarse automáticamente. El uso de particiones deslizantes estará permitido a condición de que estas particiones, o el almacén, tengan una o varias puertas que cumplan las exigencias de la citada reglamentación.
6. Todas las instalaciones de almacenaje deberán estar suficientemente ventiladas, natural o artificialmente.

### Art. 5.17.3.10

§ 1. La construcción de todos los espacios para el proceso de productos peligrosos deberá ser de tal modo que las sustancias vertidas accidentalmente o las fugas de líquidos puedan ser recogidas.

Para prevenir la propagación del fuego, la construcción de todos los espacios para el proceso de productos P1 deberá ser de tal modo que las sustancias vertidas accidentalmente o las fugas de líquidos vayan a parar a un dispositivo de recogida y pasen entonces a canales colectores que los lleven a uno o varios desagües de recogida.

Este dispositivo de recogida no podrá estar en modo alguno conectado directa o indirectamente con una alcantarilla pública, un agua superficial, un embalse de agua superficial, una zanja o una capa freática.

§ 2. El contenido de un depósito que presente fugas deberá ser inmediatamente cargado o bombeado a otro depósito en condiciones. Los líquidos vertidos deberán ser inmediatamente localizados y colocados en un bidón al efecto. Las instalaciones deberán contar con los materiales de emergencia necesarios, como material de absorción y neutralización, bidones de gran tamaño, recursos de protección, etc., para, en caso de fugas, poder responder inmediatamente a envases defectuosos, vertidos y otros incidentes y limitar al máximo las posibles consecuencias negativas.

§ 3. Los dispositivos de recogida y las balsas colectoras deberán ser vaciados con regularidad, y por lo menos después de cada incidente. Los caudales de materias residuales obtenidos deberán ser eliminados de forma apropiada.

### Art. 5.17.3.11

Deberán adoptarse todas las medidas necesarias para retirar regularmente el agua de lluvia que pueda entrar en el recinto de contención.

Antes de retirar que el agua de lluvia, el operador se asegurará que no hay presencia alguna del producto almacenado en el agua. Si el agua contiene productos almacenados, se adoptarán todas las medidas necesarias para evitar la contaminación del suelo, del agua subterránea y del agua superficial.

### Art. 5.17.3.12

§ 1. En zonas circundantes a parques de tanques dentro de una zona de extracción de agua y/o una zona protegida, tras consulta con las autoridades del agua locales o un experto ambiental acreditado en aguas subterráneas o suelo, deberán instalarse tubos de observación (pozos de medición) de acuerdo con las dispo-

siciones del apéndice 5.17.3 relativas a la detección de fugas de gas o líquido fuera del depósito de almacenaje.

Los tubos de observación (pozos de medición) deberán ser de un material que no pueda ser afectado por los líquidos almacenados.

Toda la longitud del tubo deberá estar equipada como tubería de filtración; deberá tener un diámetro interior de al menos 5 cm, llegar a un mínimo de 1 m más profundo que el nivel más bajo de la tabla de capas freáticas y ser estanco por arriba.

A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, deberán instalarse al menos tres tubos de observación.

Los planos de la obra y los informes de perforación deberán estar disponibles para su inspección por el funcionario inspector.

**§ 2.** El operador comprobará con regularidad el agua subterránea en los pozos de medición por si hay presencia de contaminación.

Para parques de tanques, al menos cada 2 años deberá realizarse una investigación del agua subterránea, por el operador, con el equipo y según un método aprobado por un experto medioambiental acreditado en el campo del agua subterránea, o por el citado experto medioambiental por sí mismo.

#### Art. 5.17.3.13

##### **§ 1. Disposiciones mínimas de extinción y refrigeración**

Un parque de tanques para el almacenaje de productos P1 y/o P2 deberá estar provisto de una instalación de espuma eficaz, permanente y/o una instalación de extinción o refrigeración adecuada a las circunstancias, tras consulta con el cuerpo de bomberos competente.

Las instalaciones deberán disponer de una cantidad del agua suficiente para rociar y/o refrigerar los depósitos durante un período suficiente. En caso de fallo del suministro de electricidad normal, el funcionamiento de las instalaciones de extinción o refrigeración deberá estar asegurado por generadores de emergencia o instalaciones de emergencia equivalentes.

**§ 2.** Las instalaciones con depósitos para el almacenaje de productos P1 clasificados en la categoría 1 que no sean atendidos por personal o sólo lo sean durante las horas de trabajo ordinarias, tras consulta con el cuerpo de bomberos competente, deberán equiparse con un sistema eficaz de detección de humo, gas o llama que dé una alarma a un departamento de monitorización atendido por personal.

**§ 3.** Para el almacenaje de productos P1 y/o P2 en parques de tanques, los recursos contra incendios existentes deberán ser examinados por un experto acreditado en el campo de seguridad externa y riesgos de accidentes graves, o por un experto competente, a menos que esta inspección sea total o parcialmente realizada por el cuerpo de bomberos competente, por el Jefe de Prevención y Protección o por una persona por él designada tras consulta con el cuerpo de bomberos competente.

#### Art. 5.17.3.14

La accesibilidad del parque de tanques deberá estar concebida de modo que:

1. El tráfico en las zonas donde exista un peligro razonable de incendio y explosión existe se mantenga al mínimo.
2. El parque de tanques tenga un fácil acceso.
3. Haya un acceso fácil para el material de intervención
4. Los vehículos con los que se transporten o suministren los productos estén, durante la carga o descarga, en la medida de lo técnicamente posible, en un punto de carga/descarga con dimensiones mayores que un carril de carretera normal

#### Art. 5.17.3.15

**§ 1.** El operador de un parque de tanques deberá conservar un archivo en lugares apropiados de la instalación para el cuerpo de bomberos competente, con al menos la información siguiente:

1. Un mapa del parque de tanques y las carreteras de acceso.

2. Una descripción de los recursos contra incendios con su indicación en un mapa.
3. Una descripción de los productos almacenados con sus principales propiedades físicas y químicas (fichas de riesgos) con especificación del listado de la directiva de la CE 67/548/CEE de 27 de junio de 1967 o 88/379/CEE de 7 de junio de 1988, del número UN (Naciones Unidas y del código ADR
4. La capacidad de contenido de agua de los depósitos..
5. La composición del servicio contra incendios propio de la instalación.

Se permitirá cualquier otra manera equivalente de proporcionar información, siempre que haya recibido la aprobación del funcionario inspector y del cuerpo de bomberos competente.

### Art. 5.17.3.16

**§ 1.** Al menos cada 3 años, sin que el periodo entre dos exámenes consecutivos pueda superar los 40 meses, las instalaciones deberán ser sometidas a una inspección limitada.

Esta inspección comprenderá, si procede:

1. Examen del anterior informe o certificado.
2. Comprobación del buen estado de la protección contra sobrellenado.
3. Inspección de la contaminación observable de forma visible u organoléptica en la superficie exterior del depósito según las disposiciones del apéndice 5.17.4
5. Inspección del estado general de la instalación, que incluye:
  - a) Investigación de fugas e indicaciones de fugas.
  - b) Inspección del estado del recubrimiento, las conexiones y las juntas del depósito.
  - c) Inspección del estado de los accesorios como: válvulas, dispositivos de medición de temperatura, presión y nivel, y conexiones a tierra.
  - d) Inspección de seguridad de presión y alarma.
  - e) Inspección del estado del revestimiento externo, la pintura y/o el aislante.
  - f) Inspección de los cimientos y/o bloques de apoyo por lo que respecta a estabilidad y desagüe.
  - g) Inspección del recinto de contención en cuanto a contenido, contaminación, pozos de medición.
  - h) Inspección del estado de los conductos y de los accesorios dentro del recinto de contención.

También, para depósitos verticales:

- a) Si procede, deberá realizarse una inspección no destructiva del revestimiento y el recubrimiento del techo de los depósitos para determinar el espesor del recubrimiento y cualquier posible corrosión, tanto interna como externa.
- b) A instancias del experto medioambiental o el experto competente, se determinará la posible presencia de sedimentos, midiendo la altura en una serie de puntos distribuidos uniformemente por la periferia del borde inferior.

**§ 2.** Al menos cada 20 años, las instalaciones deberán ser sometidas a una inspección general. Antes de dicha inspección, el depósito deberá limpiarse internamente:

Esta inspección comprenderá

1. La inspección limitada especificada en el § 1.
2. Inspección del estado de la pared interna.
3. Para depósitos verticales, la instalación incluirá asimismo:
  - a) Inspección del estado de la carcasa y de los accesorios internos como válvulas, serpentines de calentamiento techo y desagües de agua superficial y juntas en techos flotantes.
  - b) Inspección de las placas de fondo por si hay indicios de corrosión interna y externa.
  - c) Inspección de la deformación del fondo y posible medición del perfil.

4. Un test de presión de los tubos de calefacción.

Para el almacenaje de categoría 3 de productos P3 y/o P4, sólo deberá realizarse la inspección limitada indicada en el § 1.

**§ 3.** Los exámenes periódicos deberán ser realizados por un experto acreditado en el campo de recipientes para gases o sustancias peligrosas, por un experto competente, o por un técnico acreditado en instalaciones de almacenaje para productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios.

Art. 5.17.3.17

Tras las inspecciones descritas en el artículo 5.17.3.4 con la instalación y/o las investigaciones periódicas referidas en el artículo 5.17.3.16, los expertos o el técnico acreditado elaborarán un certificado en el que se indicará de forma clara si la instalación cumple o no las condiciones de este reglamento.

El citado certificado de conformidad también deberá indicar el nombre y el número de acreditación del experto o técnico que haya realizado la inspección.

Excepto en el caso de un parque de tanques, se aplicará un adhesivo claramente legible en el brazo de llenado o cerca del mismo, en el que se indicará su número de acreditación, el año y el mes de la inspección de la instalación y la última inspección realizada.

El adhesivo o placa debe tener el siguiente color:

1. Verde, si el depósito y la instalación cumplen las disposiciones de este reglamento.
2. Naranja, si el depósito y la instalación no cumplen las disposiciones de este reglamento, pero los fallos observados no pueden causar contaminación fuera del depósito.
3. Rojo, si el depósito y la instalación no cumplen las disposiciones de este reglamento y los fallos observados pueden producir o han producido contaminación fuera del depósito.

Art. 5.17.3.18

Sólo los depósitos cuyo tubo de llenado tenga una etiqueta adhesiva o placa verde, según se indica en el artículo 5.17.3.17, subsección tercera, 1., podrán ser llenados, rellenados y utilizados.

Los depósitos cuyo tubo de llenado tenga una etiqueta adhesiva o placa naranja, según se indica en el artículo 5.17.3.17, párrafo tercero, 2., podrán ser llenados o rellenados durante un periodo de transición de un máximo de seis meses. Este periodo comenzará el primer día del mes siguiente al mes indicado en la etiqueta adhesiva o placa naranja. En este caso deberá realizarse un nuevo control antes del vencimiento del plazo indicado.

Los depósitos cuyo tubo de llenado tenga una etiqueta adhesiva o placa roja, según se indica en el artículo 5.17.3.17, subsección tercera, 3., no podrán en ningún caso llenarse o rellenarse.

Art. 5.17.3.19

**§ 1.** Los siguientes se considerarán depósitos existentes para el almacenaje de productos P1, P2, P3 o P4:

1. Los depósitos cuya operación dispusiera de licencia el 1 de enero de 1993 o cuya solicitud para la renovación de la licencia ambiental estuviera siendo tramitada en la citada fecha por las autoridades competentes
2. Los depósitos que el 1 de septiembre de 1991 hubieran entrado ya en uso y en aplicación del título I de la Reglamentación General para la Seguridad en el Trabajo no fueran clasificados como instalaciones peligrosas, insalubres o que producen molestias.
3. Los depósitos cuya notificación se hubiera producido antes del 1 de julio de 1993 de acuerdo con las provisiones de Título I de la VLAREM

Estos depósitos siguen siendo depósitos existentes, también en cuanto a la renovación de la licencia ambiental.

**§ 2.** Los depósitos existentes para el almacenaje productos fuera de las categorías P1, P2, P3 o P4 son depósitos cuya operación dispusiera de licencia el 1 de mayo de 1999 o cuya solicitud para la renovación de la licencia ambiental estuviera siendo tramitada en la citada fecha por las autoridades competentes. Estos depósitos seguirán siendo depósitos existentes, también en la renovación de la licencia ambiental.

**§ 3.** La distancia y las reglas prohibitivas, así como las disposiciones de esta sección acerca del método de construcción y la instalación de los depósitos, los conductos asociados y el punto de llenado no son aplicables a depósitos existentes.

**§ 4.** La inspección general según se indica en el artículo 5.17.3.16 deberá realizarse por primera vez no más tarde de las fechas mencionadas en la tabla inferior, según el emplazamiento, la naturaleza del líquido almacenado y la categoría.

		Situación con respecto a zonas de extracción de agua o zonas protegidas	
Producto	Categoría	Dentro	Fuera
P1, P2, P3, P4	1, 2, 3	1 agosto 1998	1 agosto 2000
Otros	1, 2, 3	1 enero 2003	1 enero 2005

En previsión de esta inspección general, los depósitos podrán seguir siendo usados.

A partir de la fecha de esta inspección general, deberán realizarse exámenes periódicos según las disposiciones del artículo 5.17.3.16 y 5.17.3.17.

§ 5. Sin perjuicio de las condiciones particulares impuestas en la licencia ambiental, los depósitos deberán cumplir las disposiciones de este capítulo no más tarde de las fechas indicadas en la tabla inferior, con la excepción de la normativa relativa a:

1. La construcción e instalación de los depósitos y los conductos, siempre que cumplan con lo dispuesto en el § 4
2. La construcción y la estanqueidad del recinto de contención de parques de tanques.

		Situación con respecto a zonas de extracción de agua o zonas protegidas	
Producto	Categoría	Producto	Categoría
P1, P2, P3, P4	1, 2, 3	1 agosto 1999	1 agosto 2001
Otros	1, 2, 3	1 enero 2004	1 enero 2006

§ 6. En la sustitución de los depósitos según el § 1 y § 2, el nuevo depósito deberá cumplir toda la normativa de este capítulo, excepto la relativa a las estipulaciones de las distancias a observar.

§ 7. En derogación de las disposiciones del § 5, los depósitos existentes que no formen parte de un parque de tanques deberán, antes del 1 de enero de 2003, cumplir las disposiciones del artículo 5.17.3.6, 5.17.3.7 y 5.17.3.8.

§ 8. En los parques de tanques existentes para el almacenaje de productos P1, P2, P3 o P4 situados dentro de una zona de extracción de agua o zona protegida, no más tarde del 1 de agosto de 1997 deberán instalarse tubos de observación de acuerdo con las disposiciones del artículo 5.17.3.12.

En los parques de tanques existentes para el almacenaje de productos que no sean P1, P2, P3 o P4 situados dentro de una zona de extracción de agua o zona protegida, no más tarde de un periodo de 24 meses tras la entrada en vigor de la presente orden, deberán instalarse tubos de observación de acuerdo con las disposiciones del artículo 5.17.3.12.

Estas obligaciones serán también aplicables en un periodo de 24 meses tras la fecha de entrada en vigor de una decisión de asignación de una zona de extracción de agua y/o zona protegida.

§ 9. En parques de tanques existentes que no dispongan de un recinto de contención impermeable y que estén situados fuera de una zona de extracción de agua o zona protegida, en un periodo de 24 meses a partir de la fecha de entrada en vigor de esta orden, deberán instalarse tubos de observación de acuerdo con las disposiciones del artículo 5.17.3.12.

#### Art. 5.17.3.20

§ 1. Si se observan fugas, el operador tomará todas las medidas requeridas para evitar el peligro de explosión y restringir la contaminación adicional del suelo y del agua subterránea en la medida de lo posible.

§ 2. Después de que se hayan realizado reparaciones, el depósito sólo podrá volver al uso una vez se haya emitido un certificado por parte de un experto medioambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas o por un experto competente o un técnico acreditado en el almacenaje de productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios. En este certificado deberá indicarse claramente que el depósito y la instalación cumplen los requisitos referidos en esta orden.

**§ 3.** En el descarte final para el uso de un depósito, sea o no debido a fugas, el depósito deberá ser vaciado, limpiado y retirado dentro de un período de 36 meses sin perjuicio de las disposiciones del decreto de 2 de julio de 1981 acerca de la prevención de residuos y la gestión de materiales de desecho y sus decisiones de aplicación.

En caso de imposibilidad material de retirada, dentro del mismo plazo, tras consulta con un experto ambiental acreditado en el campo de depósitos para gases o sustancias peligrosas, con un experto competente o un técnico acreditado en el almacenaje de productos P3 y/o P4 destinados a la calefacción de edificios, el recipiente deberá ser vaciado, limpiado y llenado de arena, espuma o un material inerte equivalente. Aquí deberán tomarse las medidas necesarias relativas a la seguridad contra explosión y prevención de la contaminación del agua subterránea.

**§ 4.** Las fugas de líquidos que hayan causado contaminación del suelo o vertido en el sistema de alcantarillado, las aguas superficiales, las capas freáticas o propiedades adyacentes deberán ser inmediatamente reportados por el operador al Departamento de Inspección Ambiental, al Gobernador de la Provincia y al Alcalde de la localidad.

#### **Sección 5.17.4. Control de la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el almacenaje y transferencia de gasolina**

##### Art. 5.17.4.1

Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones referidas en la subsección 17.3.4 y las instalaciones referidas en la subsección 17.3.9 de la lista de clasificación, en la medida en que tales instalaciones se utilicen para la recogida, almacenaje y transferencia de gasolina.

##### Art. 5.17.4.2

**§ 1.** Sin perjuicio de las otras condiciones de esta reglamentación, las instalaciones de almacenaje deberán cumplir la reglamentación técnica del apéndice 5.17.9, § 2.

**§ 2.** En derogación del § 1, las instalaciones de almacenaje existentes deberán cumplir las disposiciones del § 1:

1. A partir del 1 de enero de 1999 para instalaciones de almacenaje con una circulación de más de 50000 toneladas anuales, medida durante los años 1996 y 1997.
2. A partir del 1 de enero de 2002 para instalaciones de almacenaje con una circulación superior a 25000 toneladas anuales, medida entre los años 1996 y 2000 ambos inclusive; no obstante, si la circulación medida durante los años 1998 y 2000 ambos inclusive supera el límite de 50000 toneladas anuales, las disposiciones del § 1 de este artículo serán aplicables a partir del 1 de enero del segundo año posterior al año en que se rebasa el límite.
3. A partir del 1 de enero de 2005 para otras instalaciones de almacenaje.

##### Art. 5.17.4.3

**§ 1.** Sin perjuicio de las demás condiciones de esta reglamentación, las instalaciones de transferencia de tanques móviles en terminales deberán cumplir la reglamentación técnica del apéndice 5.17.9, § 3.

**§ 2.** Todos los terminales con instalaciones de transferencia para la carga de camiones cisternas deberán estar equipados con al menos un pórtico de carga que cumpla las especificaciones para las instalaciones de llenado por el fondo del apéndice 5.17.9, § 5.

**§ 3.** En derogación del § 1 de este artículo, las instalaciones de transferencia existentes para la carga de camiones o vagones cisterna o barcos deberá cumplir las disposiciones del § 1 y § 2:

1. A partir del 1 de enero de 1999 para instalaciones de transferencia con una circulación de más de 150000 toneladas anuales, medida durante los años 1996 y 1997
2. A partir del 1 de enero de 2002 para las instalaciones de transferencia con una circulación superior a 25000 toneladas anuales, medida entre los años 1996 y 2000 ambos inclusive; no obstante, si la circula-

ción medida durante los años 1998 y 2000 ambos inclusive supera el límite de 150000 toneladas anuales, las disposiciones del § 1 de este artículo serán aplicables a partir del 1 de enero del segundo año posterior al año en que se rebase el límite.

3. A partir del 1 de enero de 2005 para otras instalaciones de terminales de transferencia.

§ 4. En un plazo máximo de tres meses a partir de la fecha de entrada en uso, y luego al menos una vez al año, un experto medioambiental acreditado en el campo de la contaminación atmosférica deberá elaborar un informe. En este informe se mostrarán los resultados de las mediciones realizadas para determinar la concentración media de vapores a la salida de la unidad de recuperación de vapores, discutiéndose y comparándose con las condiciones de emisión indicadas en el apéndice 5.17.9, § 3. El plazo entre dos mediciones de control no podrá en ningún caso superar los 15 meses. Este informe deberá ser remitido al Departamento de Licencias Ambientales, al Departamento de Inspección Ambiental y a la Agencia Medioambiental Flamenca.

### Art. 5.17.4.4

§ 1. Sin perjuicio de las otras condiciones de esta reglamentación, las instalaciones de distribución deberán cumplir la reglamentación técnica del apéndice 5.17.9, § 4.

§ 2. En derogación del § 1, las instalaciones de distribución existentes deberán cumplir las disposiciones del § 1:

1. A partir del 1 de enero de 1999 para instalaciones de distribución con una circulación de más de 1000 m<sup>3</sup> anuales, medida durante los años 1996 y 1997, así como para instalaciones, independientemente de su circulación, que estén situadas bajo espacios de vivienda o de trabajo permanentes.
2. A partir del 1 de enero de 2002 para instalaciones de distribución con una circulación superior a 500 m<sup>3</sup> anuales, medida entre los años 1996 y 2000 ambos inclusive; no obstante, si la circulación medida durante los años 1998 y 2000 ambos inclusive supera el límite de 1000 m<sup>3</sup> anuales, las disposiciones del § 1 de este artículo serán aplicables a partir del 1 de enero del segundo año posterior al año en que se rebase el límite.
3. A partir del 1 de enero de 2005 para otras instalaciones de distribución.

§ 3. Las disposiciones de este artículo no son aplicables a instalaciones de distribución con una circulación de menos de 100 m<sup>3</sup> anuales.

§ 4. Las instalaciones de almacenaje que formen parte de instalaciones de distribución de gasolina que según las disposiciones de este artículo deban cumplir la reglamentación técnica del apéndice 5.17.9, § 4, sólo podrán ser llenadas con tanques móviles que cumplan la reglamentación federal para la ejecución de la Directiva de la CE 94/63/CE de 20 de diciembre de 1994 relativa al control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) derivadas del almacenaje de gasolina y la distribución de gasolina desde terminales a instalaciones de distribución.

### Art. 5.17.4.5

El operador deberá mantener un registro en el que se indique la información de circulación. El registro deberá tenerse a disposición de los funcionarios inspectores.

### Art. 5.17.4.6

El operador de una instalación de recuperación de vapores deberá mantener un registro en el que se detalle de forma precisa cada periodo de inactividad o uso de esta instalación, así como el motivo de ello y las medidas adoptadas. Este registro deberá estar disponible para su examen en el lugar de operación.

## Sección 5.17.5. Instalaciones de distribución de combustible para vehículos a motor

### Art. 5.17.5.1

Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones referidas en la subsección 17.3.9 de la lista de clasificación.

### Art. 5.17.5.2

Sin perjuicio de las condiciones de esta reglamentación, deberán tomarse las medidas apropiadas para evitar el vertido de combustibles líquidos, la contaminación del suelo y del agua subterránea y superficial. En caso de un incidente, deberán adoptarse inmediatamente medidas eficaces para evitar la diseminación de combustibles líquidos.

### Art. 5.17.5.3

Las instalaciones eléctricas deberán cumplir los requisitos referidos en la Reglamentación General para instalaciones eléctricas, en particular los artículos que tratan de espacios en los que pueda originarse una atmósfera explosiva. Estas instalaciones deberán poder ser paradas manualmente desde un lugar seguro y fácilmente accesible en todo momento.

### Art. 5.17.5.4

El repostaje de cualquier vehículo sólo podrá realizarse con los motores de dicho vehículo apagados.

### Art. 5.17.5.5

Los espacios de repostaje para vehículos a motor para productos P1 y/o P2 deberán ser siempre al aire libre y en las dependencias de la instalación. El suelo del lugar de aparcamiento deberá ser impermeable y con suficiente soporte. El suelo deberá estar provisto de la inclinación necesaria y posiblemente de bordes elevados para asegurar que los vertidos de combustibles inflamables vayan a parar a un colector y sean eliminados conforme a la reglamentación.

No deberá haber zanjas, zonas de paso o espacios bajo la citada posición de repostaje.

### Art. 5.17.5.6

Cada depósito fijo que forme parte de una instalación de distribución para el repostaje de vehículos a motor deberá estar equipado con su propia manguera de llenado.

El punto de repostaje para productos P1 y/o P2:

1. Deberá estar en proyección horizontal a una distancia mínima de 2 m del borde del depósito.
2. No podrá estar en un edificio cerrado o abierto.
3. Deberá estar situado a un mínimo de 3 m de cualquier espacio de sótano y de los límites de terrenos de terceros.

### Art. 5.17.5.7

**§ 1.** Por lo que respecta a las instalaciones de distribución de combustible para vehículos a motor, el periodo de transición específico del artículo 3.2.1.2, § 3, b) para los requisitos de construcción especificados en los artículos 5.17.5.5 y 5.17.1.17, 6. podrá trasladarse al:

1. 1 de enero de 1999 para todas las instalaciones de distribución equipadas con depósitos metálicos de pared simple soterrados directamente, situadas en zonas de extracción de agua y zonas protegidas.

2. 1 de enero de 2002 para todas las instalaciones de distribución excepto las mencionadas en 1., equipadas con depósitos metálicos de pared simple soterrados directamente que fueran construidas antes de 1975, suponiéndose que los depósitos fueron construidos antes de 1975 si no puede demostrarse su edad.
3. 1 de enero de 2005 para todas las otras instalaciones de distribución.

Para depósitos existentes o descargas existentes de alcantarillados industriales,, podrá aplicarse la misma derogación que en el artículo 5.17.1.4, § 2, el artículo 5.17.2.11, § 5 y el artículo 3.2.1.2, § 3, b, por lo que respecta a la realización de los requisitos indicados en el apéndice 5.3.2, 52°, c).

**§ 2.** La empresa operadora sólo podrá beneficiarse de la excepción referida en el § 1 a condición explícita de que, no más tarde del 1 de enero de 1998, se haya comprometido a lo siguiente por correo certificado al Departamento de Licencias Ambientales y del Departamento de Inspección Ambiental:

1. A asegurar que todos los depósitos cumplirán las condiciones de esta reglamentación para depósitos nuevos antes de la fecha establecida en el § 1, excepto en lo relativo a la reglamentación sobre ubicación (en particular las reglas prohibitivas y estipulaciones de distancias a observar).
2. A que el funcionamiento de la instalación de distribución de combustible finalizará definitivamente a partir de la fecha indicada en el § 1 en caso de no cumplirse el compromiso detallado en el punto 1.

## **Anexo 6**

### **CAPITULO 5.20: INSTALACIONES INDUSTRIALES QUE PUEDEN CAUSAR CONTAMINACION ATMOSFERICA**

#### **Sección 5.20.1. Disposiciones generales**

##### **Art. 5.20.1.1**

**§ 1.** Las disposiciones de este capítulo son aplicables a las instalaciones referidas en la sección 20 de la lista de clasificación.

**§ 2.** En derogación de los valores límite de emisión indicados en el capítulo 4.4., los valores límite de emisión especificados en otros capítulos de esta orden para categorías específicas de instalaciones son también aplicables a las categorías de instalaciones cubiertas en las secciones específicas del § 1 con la misma actividad industrial. Esto hace referencia particularmente a los valores límite de emisión indicados en los capítulos 5.7. "Compuestos químicos" y 5.29. "Metal", aplicables respectivamente a las instalaciones referidas en las subsecciones 20.4 y 20.2.

#### **Sección 5.20.2 Refinerías de petróleo.**

##### **Art. 5.20.2.1 Ámbito**

Las disposiciones de esta sección son aplicables a las instalaciones referidas en las subsecciones 1.1 y 20.1.2. de la lista de clasificación.

##### **Art. 5.20.2.2**

**§ 1.** En derogación de las disposiciones de los artículos 5.7.6.1, capítulos 5.31 y 5.43 y los valores límite de emisión generales especificados en el capítulo 4.4., para instalaciones de refino de petróleo [  $\frac{1}{4}$  ] serán aplicables los siguientes valores límite relativos a la suma de las emisiones originadas en instalaciones de calefacción, incluidas instalaciones STEG e instalaciones de proceso:

1. A partir del 1 de enero de 1994:
  - a) para dióxido de azufre:
    - hasta el 31 de diciembre de 1997: 2000 mg/Nm<sup>3</sup>
    - a partir del 1 de enero de 1998: 1300 mg/Nm<sup>3</sup>

b) para óxidos de nitrógeno:	
– hasta el 31 de diciembre de 1997:	900 mg/Nm <sup>3</sup>
– a partir del 1 de enero de 1998:	450 mg/Nm <sup>3</sup>
c) para partículas en suspensión:	
– hasta el 31 de diciembre de 1997:	300 mg/Nm <sup>3</sup>
– a partir del 1 de enero de 1998:	150 mg/Nm <sup>3</sup>
2. A partir del 1 de enero de 1997:	
para CO:	
– hasta el 31 de diciembre de 1997:	250 mg/Nm <sup>3</sup>
– a partir del 1 de enero de 1998:	150 mg/Nm <sup>3</sup>
3. A partir del 1 de enero de 1999:	
– para Ni y sus compuestos:	2 mg/Nm <sup>3</sup> expresados como Ni
– para V y sus compuestos:	7 mg/Nm <sup>3</sup> expresados como V.

En las instalaciones de proceso referidas en la primera subsección se incluyen, entre otras:

- Unidades de recuperación de azufre.
- Unidades de craqueo catalítico y conversión
- Incineradores
- Antorchas así como oxidadores de asfalto y otras unidades de proceso con emisiones de SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>, CO y polvo. Para instalaciones de calefacción nuevas y grandes, se aplican las disposiciones de la sección 5.43.2, excepto en los valores límite de emisión incluidos en la sección. Estos son sustituidos por los valores límite de emisión incluidos en el apéndice 5.20.2.

En derogación del artículo 3.2.1.2, § 3, a), para instalaciones existentes se aplicarán los valores límite de emisión más estrictos, referidos en la subsección tercera, a partir del 1 de enero de 2005.

**§ 2.** A partir del 1 de enero de 1994, las condiciones de funcionamiento de las licencias de operación de refinerías de petróleo con respecto a SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, CO y polvo serán sustituidas por las disposiciones del §1.

**§ 3.** Para la aplicación de las disposiciones del § 1 de este artículo, deberán respetarse las siguientes especificaciones:

1. Para las definiciones de gases de combustión y valores límite de emisión, para instalaciones nuevas y existentes y para instalaciones de turbinas de vapor y de gas (STEG), se aplicarán las definiciones del artículo 1.1.2, en particular por lo que respecta a instalaciones industriales que puedan causar contaminación atmosférica.  
Para instalaciones de proceso, los actuales caudales en m<sup>3</sup>/hora deberán ser convertidos a condiciones normales de temperatura (273 °K) y presión (101.3 kPa), pero en base a gas seco, como se especifica en el artículo 4.4.3.1, con la cantidad concreta de exceso de oxígeno.
2. Estrategia de medición para partículas en suspensión, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Ni y V:
  - Para instalaciones de calefacción, incluidas máquinas con incineración interna, se aplicarán las disposiciones del artículo 5.43.2.3., §§ 1 y 2.
3. Evaluación de los resultados de mediciones:
 

Para la evaluación de los resultados de mediciones, se aplicará lo siguiente:

  - Para SO<sub>2</sub>: las disposiciones del artículo 5.43.2.4 con medición continua, o el artículo 4.4.4.5 con medición discontinua.
  - Para NO<sub>x</sub> y CO: las disposiciones del artículo 5.43.5.1, § 4 con medición continua, o el artículo 4.4.4.5 con medición discontinua.
  - Para partículas en suspensión: las disposiciones del artículo 5.43.5.1, § 4 con medición continua, o el artículo 4.4.4.5 con medición discontinua.
  - Para Ni y V: las disposiciones mencionadas para NO<sub>x</sub> en el artículo 5.43.5.1, § 4 con medición continua, o el artículo 4.4.4.5 con medición discontinua.

**§ 4.** Los efluentes gaseosos liberados discontinuamente por un proceso, como efluentes gaseosos derivados de la regeneración de agentes catalíticos y de actividades de inspección y limpieza, deberán ser transportados a una instalación de combustión o antorcha, o deberán tomarse medidas equivalentes para asegurar la reducción de emisiones.

Los efluentes gaseosos liberados en el arranque o parada de una instalación deberán, en la medida de lo posible, ser transportados a un sistema de recogida para efluentes gaseosos o incinerarse en instalaciones de calefacción del proceso. Si esto no es posible, los gases deberán ser conducidos a una antorcha, en la que

para sustancias orgánicas no podrá rebasarse un nivel de emisión del 1 % con respecto al contenido total de carbono.

Los efluentes gaseosos de instalaciones de desulfurización u otras fuentes con un nivel de volumen de sulfuro de hidrógeno de más del 0,4 % y un flujo de masa de sulfuro de hidrógeno de más de 2 toneladas/día deberán ser sometidos a proceso adicional.

Los efluentes gaseosos que no sean procesados ulteriormente deberán ser transportados a un incinerador.

En derogación de las disposiciones del capítulo 4.4, las emisiones de sulfuro de hidrógeno en el efluente gaseoso descargado no podrán exceder los 10 mg/Nm<sup>3</sup>.

El agua que contenga sulfuro de hidrógeno sólo podrá ser procesada de modo que se evite la emisión de efluente gaseoso a la atmósfera.

En la transferencia de productos de base, intermedios y acabados, las emisiones de sustancias orgánicas con una presión de vapor de más de 13,3 kPa a una temperatura de 35 °C deberán reducirse mediante medidas apropiadas, como péndulo de gas, extracción y transferencia a una instalación de purificación de gas efluente.

El agua de proceso sólo podrá ser evacuada a un sistema abierto tras su desgasado. Los efluentes gaseosos aquí recogidos deberán limpiarse por lavado o incineración.

**§ 5.** En derogación del § 1, la emisión en el efluente gaseoso de instalaciones para el craqueo catalítico según el procedimiento de "lecho fluidizado" con regeneración del catalizador no podrá exceder los siguientes valores límite de emisión para partículas en suspensión:

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Hasta el 1 de enero de 2005:     | 300 mg/Nm <sup>3</sup> como media mensual. |
| 2. A partir del 1 de enero de 2005: | 50 mg/Nm <sup>3</sup> como media mensual.  |

**§ 6.** La concentración de dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y de dibenzo-p-furanos policlorados (PCDF), calculada según el artículo 5.2.3.1.5, § 6, expresada en nanogramos de equivalente tóxico de dioxinas por Nm<sup>3</sup> (ng TEQ/Nm<sup>3</sup>), no podrá superar un valor límite de 0,5 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> para todos los valores medios a lo largo de un periodo de muestreo de al menos 6 horas y un máximo de 8 horas. El valor de referencia de emisión es de 0,1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>.

En derogación de las disposiciones de la primera subsección, para instalaciones existentes será aplicable lo siguiente:

- Un valor de referencia de emisión de 0,4 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>;
- Un valor límite de emisión de 2,5 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> a partir del 1 de enero de 2002.

Los citados valores de referencia deberán intentar alcanzarse mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles.

La concentración de masa de PCDD y PCDF deberá medirse según los requisitos referidos en la norma belga T95-R-NBN EN 1948-1, 2 o 3. Esta concentración deberá ser medida al menos una vez al año por un experto medioambiental acreditado para estas mediciones. Esta medición no es obligatoria para flujos constituyentes que no contribuyan a las emisiones de forma significativa. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, la omisión de las mediciones de flujos constituyentes específicos sólo se aceptará siempre que haya sido aprobada previamente por una autoridad competente.

Cada medición realizada según el método arriba indicado deberá, tras el cálculo de la precisión referido en el artículo 4.4.4.2, § 5, cumplir el límite de emisión prescrito. Si la concentración medida, tras el cálculo de la citada precisión, supera el valor límite de emisión, en el plazo de tres meses se realizará un nuevo muestreo y análisis.

### Art. 5.20.2.3 Procedimientos de control de inmisiones

**§ 1.** Sin perjuicio de las disposiciones del capítulo 4.4, cada vez que las condiciones climáticas parezcan desfavorables para la buena dispersión de los gases de combustión, en particular en la instalación, el operador deberá adoptar todas las medidas necesarias para limitar al máximo las emisiones de SO<sub>2</sub> así como de NO<sub>x</sub> de esta instalación.

**§ 2.** Cada cambio de combustible, de contenido de azufre del combustible líquido, así como de las veces que deja de usarse, se anotará en un registro que el operador deberá mantener a disposición del inspector competente.

**§ 3.** Si la capacidad térmica nominal instalada total en un establecimiento asciende a más de 300 MW, en la zona circundante de las instalaciones se instalarán y mantendrán, con costes a cargo del operador, aparatos para la medición de las inmisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> en la atmósfera a nivel del suelo. El tipo, el lugar de

medición, el método de control y las demás condiciones de uso de los aparatos se determinarán en la licencia ambiental.

**§ 4.** Sin perjuicio de las disposiciones del § 1., cada vez que el valor medio de las inmisiones a lo largo de 24 horas, medido con el equipo especificado en el § 3, ascienda a más de 300 mg/m<sup>3</sup> para SO<sub>2</sub> y/o 150 mg/m<sup>3</sup> para NO<sub>2</sub>, el operador deberá adoptar las medidas prescritas en el § 1, y mantenerlas mientras los valores de inmisión medios medidos a lo largo de 24 horas de SO<sub>2</sub> y de NO<sub>2</sub> asciendan a más de 300 mg/m<sup>3</sup> para SO<sub>2</sub> y/o 150 mg/m<sup>3</sup> para NO<sub>2</sub>.

**§ 5.** Para garantizar el cumplimiento de los valores límite de emisiones para óxidos de nitrógeno del art. 5.20.2.2, podrán imponerse condiciones de construcción técnica más apropiadas en las licencias ambientales.

Si de las mediciones de control parece que el valor límite de emisión no se cumple debido a circunstancias imprevistas, el operador deberá tomar todas las medidas primarias adecuadas para asegurar el cumplimiento de los valores límite de emisión lo antes posible. El operador deberá reportar esta circunstancia al Departamento de Inspección Ambiental junto con la indicación de las medidas adoptadas para la mejora. Deberá informarse inmediatamente a la Comisión Europea, a través de los canales habituales, de tales episodios, así como del trabajo realizado para la mejora.

### Sección 5.20.3 Instalaciones para la destilación seca de carbón (hornos de coque)

#### Art. 5.20.3.1 Instalaciones de cocción incompleta, gas de horno de coque y calefacción

##### **§ 1. Valor de referencia**

Los valores de emisión para gases residuales de calefacción están referidos a un nivel de volumen de oxígeno en el gas consumido del 5 %.

##### **§ 2. Gas y combustible de horno de coque**

En derogación del valor límite de emisión general de SO<sub>2</sub> especificado en el artículo 4.4.3.1, la media ponderada de la concentración en peso de compuestos de azufre en el gas de la cocción incompleta, así como en los gases originados de los hornos de coque usados como combustible, no podrá superar a lo largo de un año natural el valor de 0,80 g/m<sup>3</sup> expresado como azufre.

##### **§ 3. Oxidos de nitrógeno**

En la primera medición, las emisiones de monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno en el efluente gaseoso de la cocción incompleta no podrán exceder el valor de 0,50 g/m<sup>3</sup> expresado como dióxido de nitrógeno. Deberán aplicarse la mejores técnicas disponibles para reducir el aumento de las emisiones por envejecimiento.

Las mediciones a realizar por primera vez tras la fundación o modificación significativa deberán realizarse una vez que la instalación haya alcanzado un funcionamiento ininterrumpido, aunque como muy pronto después de tres meses en funcionamiento y como muy tarde a los doce meses de estar en funcionamiento.

#### Art. 5.20.3.2 Llenado de los hornos de coque

En la descarga del carbón de la carbonera en vagonetas, deberán evitarse emisiones de polvo.

Los gases de llenado deberán recogerse.

En descargas con volquete, los gases de llenado deberán ser transferidos al gas crudo o un horno cercano en la medida de lo posible, con la mirada puesta en la procesabilidad ulterior del alquitrán de hulla crudo.

En el machacado, los gases de llenado deberán transferirse al gas crudo si es posible.

Los gases de llenado que no puedan transferirse deberán ser conducidos a una instalación de incineración. Las emisiones que contengan polvo en el efluente gaseoso de la incineración no podrán exceder los 25 mg/m<sup>3</sup>.

En las actividades de nivelado tras descarga de carbón con volquete, las emisiones de los gases de llenado deberán reducirse mediante el sellado de la abertura de nivelado.

### Art. 5.20.3.3 Tapaderas de las aberturas de llenado

Las emisiones de las tapaderas de las aberturas de llenado deberán evitarse en la medida de lo posible, por ejemplo utilizando tapaderas con superficies sellantes, cubriendo las tapaderas de las aberturas de llenado con arcilla después de llenar los hornos, y limpiando regularmente los marcos de las aberturas de llenado y las tapaderas antes de cerrar las aberturas de llenado. Los restos de carbón deberán eliminarse regularmente del techo del horno.

### Art. 5.20.3.4 Tapas del tubo de evacuación de aire

Para evitar emisiones de gas y de alquitrán de hulla, las tapaderas del tubo de evacuación de aire deberán estar equipadas con dispositivos para humedecer con agua o dispositivos equivalentes.

### Art. 5.20.3.5 Máquinas de operación de hornos de coque

Las máquinas de operación de hornos de coque deberán estar equipadas con dispositivos para la limpieza de las superficies sellantes en los marcos de las puertas de los hornos.

### Art. 5.20.3.6 Puertas de hornos de coque

Deberán utilizarse puertas de hornos de coque con un gran efecto sellante, por ejemplo puertas de diafragma o puertas con un efecto sellante equivalente. Las superficies sellantes de las puertas de los hornos deberán limpiarse regularmente.

A menos que se especifique lo contrario en la licencia medioambiental, las baterías de hornos de coque deberán disponerse de modo que en el lado de máquinas y en el lado de coque puedan instalarse unidades de extracción para puertas con dispositivos de eliminación de polvo.

### Art. 5.20.3.7 Empuje de coque

En el empuje hacia fuera del coque, los gases consumidos deberán recogerse y conducirse a una instalación de eliminación de polvo. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, la concentración de polvo en las emisiones no deberá superar el valor límite de emisión de 50 mg/Nm<sup>3</sup>, y las emisiones que contengan polvo no deberán superar los 5 gramos por tonelada de coque producida.

### Art. 5.20.3.8 Enfriamiento del coque

§ 1. Si se aplica enfriamiento seco, a menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, las emisiones de polvo en el fluente gaseoso no podrán superar los 20 mg/m<sup>3</sup>.

§ 2. Si se aplica enfriamiento húmeda, la torre de enfriamiento usada deberá estar equipada con extractores de polvo incorporados.

En derogación de los valores límite de emisión establecidos en el artículo 4.4.3.1, los valores límite de emisión se expresan en gramos por tonelada de coque. A menos que se especifique lo contrario en la licencia ambiental, no podrá excederse un valor límite de emisión de 60 gramos de partículas en suspensión por tonelada de coque, medido según la directiva VDI 2303 u otro método de medición equivalente aprobado por un experto medioambiental acreditado en el campo de la contaminación atmosférica.

### Art. 5.20.3.9 Manual de operación

El manual de operación deberá contener medidas para la reducción de emisiones en la operación del horno de coque, en particular por lo que respecta a:

1. El sellado de las aberturas.
2. La garantía de que sólo se empujará afuera material totalmente coquizado.
2. Evitar que los gases sin combustionar escapen a la atmósfera.

Art. 5.20.3.10 Instalaciones existentes

Para instalaciones existentes, las disposiciones de esta sección serán aplicables a partir del 1 de enero de 1998.

**Sección 5.20.4 Producción de fibra de vidrio o fibra de roca y lana de vidrio, fabricación de vidrio (cóncavo, plano y vidrio especial) y la fabricación de cerámica cruda**

**Subsección 5.20.4.1 Producción de vidrio (cóncavo, plano y vidrio especial) y de fibra de vidrio o fibra de roca**

Art. 5.20.4.1.1

**§ 1. Valor de referencia**

Los valores límite de emisión para superficies de fusión de vidrio calentadas por llama hacen referencia a un nivel de volumen del 8 %, y en hornos de solera abierta y hornos de crisol calentados por llama, un nivel de oxígeno en el gas consumido del 13 %.

**§ 2. Oxidos de nitrógeno**

Las emisiones de monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno, expresadas en dióxido de nitrógeno, en el efluente gaseoso no podrán exceder los siguientes valores:

	Combustión a fuel-oil [g/Nm <sup>3</sup> ]	Combustión a gas [g/Nm <sup>3</sup> ]
<b>Hornos de crisol</b>	1,2	1,2
<b>Hornos de solera con recuperación de calor recuperativa</b>	1,2	1,4
<b>Hornos de solera abierta</b>	1,6	1,6
<b>Hornos de solera de llama en herradura con recuperación de calor regenerativa</b>	1,8	2,2
<b>Hornos de solera de llama transversal con recuperación de calor regenerativa</b>	3,0	3,5

Cuando debido a consideraciones de calidad de producción sea necesaria la purificación con nitrato, las emisiones no podrán superar el doble de los valores especificados en la subsección anterior. Deberán aplicarse todas las posibilidades para la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno por técnicas de combustión y otras medidas disponibles.

**§ 3. Oxidos de azufre.**

Las emisiones de dióxido de nitrógeno y trióxido de nitrógeno en el gas consumido, expresadas como dióxido de azufre, no podrán exceder los siguientes valores a un flujo de masa de 10 kg/h o más en los siguientes hornos con combustión:

- a) Hornos de fusión de vidrio con combustión: 1,8 g/Nm<sup>3</sup>
- b) Hornos de crisol y de solera abierta: 1,1 g/Nm<sup>3</sup>

**Subsección 5.20.4.2 Producción de cerámica cruda**

Art. 5.20.4.2.1

**§ 1. Valor de referencia**

Los valores límite de emisión hacen referencia a un nivel volumétrico de oxígeno en el efluente gaseoso del 18 %.

**§ 2. Oxidos de azufre**

Con un contenido de azufre en las materias primas de menos del 0,12 %, las emisiones de dióxido de azufre y trióxido de azufre, expresadas como dióxido de azufre en el efluente gaseoso a un flujo de masa de 10 kg/h o más, no podrán exceder 0,5 g/Nm<sup>3</sup>.

Con un contenido de azufre en las materias primas del 0,12 % o más, las emisiones de dióxido de azufre y trióxido de azufre, expresadas como dióxido de azufre en el efluente gaseoso a un flujo de masa de 10 kg/h o más, no podrán exceder 1,5 g/Nm<sup>3</sup>.

Deberán aplicarse todas las posibilidades para la reducción de emisiones mediante instalaciones de limpieza de efluentes gaseosos.

§ 3. Para instalaciones existentes, referidas en la sección 30.9 de la lista de clasificación, también serán aplicables las disposiciones del capítulo 5.30.

### Sección 5.20.5 Instalaciones para la producción de energía hidroeléctrica así como instalaciones para el aprovechamiento de la energía eólica para producción de energía

#### Art. 5.20.5.1

§ 1. Las disposiciones de esta sección son aplicables a las subsecciones 20.1.5 y 20.1.6 de la lista de clasificación.

§ 2. En derogación de las disposiciones del capítulo 4.5, en este caso no son aplicables estándares de ruido. En la licencia ambiental podrán aplicarse límites de emisión de ruido según las condiciones locales.

### 3. DINAMARCA

No se ha facilitado información.

### 4. FINLANDIA

La legislación de protección medioambiental finlandesa ha sido revisada recientemente y el 1 de marzo de 2000 entró en vigor una nueva Ley de Protección Medioambiental. La nueva ley incorpora totalmente la Directiva de la UE sobre Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) y tiene un enfoque integrado para el control de las emisiones causadas por la industria. Según la Ley de Protección Medioambiental, se requiere un permiso ambiental para las instalaciones de la industria química.

En el procedimiento de obtención del permiso se consideran al mismo tiempo el conjunto y cada uno de los efectos medioambientales de la actividad. Todas las condiciones necesarias para el permiso se hallan reunidas en un solo permiso. La solicitud del permiso es tramitada por la autoridad competente.

En Finlandia, las condiciones de los permisos se basan principalmente en consideraciones específicas para cada caso. Por el momento no hay reglamentación especial relativa a las emisiones a la atmósfera o las aguas residuales de la industria química. En lugar de ello hay algunas Decisiones del Consejo de Estado sobre la descarga de determinados compuestos en sistemas de alcantarillado público o cuerpos acuáticos. Además, hay reglamentos que prohíben o limitan el uso de determinados compuestos químicos. Todos ellos son válidos en la industria química, así como en otros sectores de la industria.

Las recomendaciones internacionales, como las recomendaciones HELCOM (Comisión de Helsinki, Comisión para la Protección del Entorno Marino en el Báltico), son también tenidas en consideración a la hora de establecer las condiciones de los permisos.

### 5. FRANCIA

La legislación para el sector químico se compone de:

- Legislación marco general para el control de la contaminación industrial y la prevención de riesgos, según disponen la "ley de instalaciones clasificadas" de 19 de julio de 1976 y la Orden de 2 de febrero de 1998. Esta orden especifica que los valores límite de emisión deben estar basados en las MTD y las condiciones locales del entorno. La Orden da valores límite de emisión generales para la atmósfera y el

agua para todas las instalaciones clasificadas, así como valores límite específicos para muchas actividades industriales, muchas de ellas incluidas en el sector químico.

- Legislación especial, dedicada a cada sector particular de la industria química, que concreta las disposiciones generales de la legislación marco general para ese sector particular. Los principales sectores cubiertos por esta legislación especial son:

- Producción de superfosfatos
- Producción de compuestos orgánicos sulfúricos
- Producción de detergentes y jabones
- Extracción con vapor de perfumes y aceites esenciales
- Producción de colorantes y tintes
- Producción de fármacos
- Producción de plásticos y gomas
- Uso y reutilización de plásticos y gomas
- Almacenaje de plásticos y gomas
- Almacenaje de neumáticos
- Producción de acumuladores.

## **6. ALEMANIA**

La reglamentación importante relevante para las instalaciones industriales en Alemania se establece en la Ley Federal de Control de Inmisiones [Bundesimmissionsschutzgesetz - BImSchG], la Ley Federal sobre el Agua [Wasserhaushaltsgesetz - WHG] y la Ley Federal sobre Reciclaje y Gestión de Residuos [Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG]. Alemania utiliza un sistema de permisos separados para los distintos medios ambientales, pero la decisión final sobre una aplicación se toma mediante la evaluación de los impactos medioambientales sobre todos los medios por parte de las autoridades competentes. Asimismo, en el procedimiento de concesión de licencias se consideran las exigencias sobre ruido. El “principio de precaución” tiene un estatus legal que permite el establecimiento de estándares. Los estándares legales no son objeto de negociación en el proceso de concesión de licencias en Alemania.

En cumplimiento con la estructura federal de Alemania, la aplicación de las leyes y decretos medioambientales está bajo la responsabilidad de los estados o “Lands” federales (Bundesländer), que pueden poner en práctica el procedimiento administrativo de forma distinta. Para plantas nuevas que son consideradas relevantes con respecto a emisiones y liberaciones en el medio ambiente, se requiere también una evaluación de impacto medioambiental durante el procedimiento de concesión de licencia [‘Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung [UVPG]’, (Ley de Evaluación de Impacto Medioambiental)].

### Reglamentación sobre calidad del aire

La ley básica para el control de la contaminación atmosférica es la Ley Federal de Control de Inmisiones [Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG]. Se concreta a través de 21 órdenes y las Instrucciones Técnicas sobre Calidad del Aire [TA Luft].

Instrucciones Técnicas sobre Calidad del Aire (TA Luft) han sido establecidas como reglamentación administrativa general en conexión con el §48 BImSchG. La TA Luft especifica además los requisitos a cumplir por las instalaciones sujetas a obtención de licencia. Por lo tanto, prescriben valores límite para prácticamente todos los contaminantes atmosféricos así como requisitos estructurales y operativos encaminados a limitar las emisiones difusas.

Los valores límite de emisión TA Luft representan la tecnología más avanzada en cuanto a medidas técnicas para reducir emisiones (a partir de 1986). Estos valores fueron desarrollados a partir de investigaciones y estudios científicos que tienen en cuenta aspectos toxicológicos, bioacumulativos y epidemiológicos.

Requisitos generales de control de emisiones establecidos por la reglamentación TA Luft					
Sustancia emitida (Sección de TA Luft)	Clase	Sustancias	Notas	Umbral de flujo de masa (g/h)	Límite de concentración <sup>(2)</sup> (mg/m <sup>3</sup> )
Total polvo (3.1.3)	-			</= 500 >/= 500	150 50
Partículas de polvo inorgánicas (3.1.4)	I	Hg, Cd, Tl	suma de sustancias	>/= 1	0,2
	II	As, Co, Ni, Te, Se	suma de sustancias	>/= 5	1
	III	ej.: Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, Pt, Pd, Rn, V, Sn y sustancias de las que se tienen fundadas sospechas de que causan cáncer	suma de sustancias	>/= 25	5
	I+II		suma de sustancias		1
		I+III, II+III		suma de sustancias	
Sustancias inorgánicas vaporosas o gaseosas (3.1.6)	I	(ej.: AsH <sub>3</sub> )	por sustancia	>/= 10	1
	II	(ej.: HF, Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)	por sustancia	>/= 50	5
	III	(ej.: compuestos de Cl como HCl)	por sustancia	>/= 300	30
	IV	(ej.: SO <sub>2</sub> + SO <sub>3</sub> como SO <sub>2</sub> , NO + NO <sub>2</sub> como NO <sub>2</sub> )	por sustancia	>/= 5000	500
Sustancias orgánicas (3.1.7)	I	(ej.: Clorometano)	Clasificación según Anexo E de TA Luft	>/= 100	20
	II	(ej.: Clorobenceno)		>/= 2000	100
	III	(ej.: Alcoholes alquílicos)		>/= 3000	150
Emisiones vaporosas o gaseosas durante el tratamiento y relleno de sustancias orgánicas (3.1.8)	Requisitos para la minimización de emisiones orgánicas difusas mediante la instalación de equipo técnico, como bombas, compresores, juntas con bridas, válvulas de parada y puntos de muestreo				
Carcinógenos (2.3)	I	ej.: Cd <sup>(1)</sup> , As <sup>(1)</sup> , amianto, benzo(a)pireno	suma de sustancias	≥ 0.5	0.1
	II	ej.: Ni, cromo VI	suma de sustancias	≥ 5	1
	III	ej.: acrilonitrilo, benceno	suma de sustancias	≥ 25	5

1. En base a la decisión adoptada por la Conferencia del Gobierno Federal / Ministros de los Estados Federales sobre Medio Ambiente del 21/22 de noviembre de 1991, se ha estipulado un valor de concentración de emisión de 0.1 mg/m<sup>3</sup> para Cd y sus compuestos, indicados como Cd, así como para As y sus compuestos, indicado como As.

2. Los límites de concentración son la masa de sustancias emitidas en relación al volumen de gas emitido en condiciones estándar (0 °C, 1013 mbar) una vez sustraído el contenido de vapor de agua.

3. Si hay presentes sustancias orgánicas de distintas clases, la concentración en peso del gas emitido no debe superar un total de 0,15 g/m<sup>3</sup> con un flujo de masa total de 3 kg/h o más.

En caso de emisión de caudales elevados, las emisiones deberán monitorizarse continuamente.

Ningún valor medio de las distintas sustancias emitidas deberá superar los límites de emisión requeridos; el 97 % de todas las medias semihorarias no deberá superar seis quintos de los límites de emisión requeridos, y ninguna de las medias semihorarias deberá superar los límites de emisión requeridos en más del doble.

Requisitos específicos de control de emisiones de la TA Luft para la industria química orgánica	
Sector	Requisitos
Producción de 1,2 – dicloroetano (EDC) y cloruro de vinilo (VC) (3.3.4.1.g.1)	Concentración límite de emisión: 5 mg EDC o VC /m <sup>3</sup>
Producción de acrilonitrilo (AN) (3.3.4.1.g.2)	Concentración límite de emisión: 0,2 mg AN /m <sup>3</sup> Los gases residuales de destilación o relleno deben reducirse
Producción de pesticidas (3.3.4.1.g.3)	Polvo En el caso de la producción de pesticidas que sean persistentes o acumulativos, o que estén restringidos según la directiva sobre Prohibiciones de Comercialización y Uso de Pesticidas que contengan Sustancias Activas Particulares Concentración límite de emisión: 5 mg/Nm <sup>3</sup> (umbral de flujo de masa: ≥25 g/h)
Plantas para molidura, mezcla, relleno y envasado de pesticidas (3.3.4.2.1)	Concentración límite de emisión:

### Reglamentación sobre calidad del agua

El marco legal para la gestión del agua es la Ley Federal del Agua [Wasserhaushaltsgesetz - WHG]. La WHG se aplica a las aguas residuales generadas por diversos procesos industriales. Las **descargas al agua** están reguladas por la Orden sobre Aguas Residuales y sus Anexos [Abwasserverordnung, AbwV]. Especifica los requisitos mínimos estipular al conceder un permiso para descargar el agua de desecho de las categorías de fuentes incluidas en una lista en los Apéndices en un cuerpo acuático receptor.

Publicados por el Gobierno Federal con la autorización de los Estados Federales (Lands), estos requisitos mínimos son obligatorios para las autoridades responsables a la hora de conceder permisos para descargas, y pueden imponerse requisitos aún más rigurosos cuando lo requieran las condiciones locales. Los requisitos mínimos están basados en el "principio de emisión" y el principio de precaución. Los requisitos generales según la Orden sobre Aguas Residuales se cubren en el Artículo 3 detallado a continuación:

### Requisitos generales

- i. A menos que se indique lo contrario en los Apéndices, sólo se concederá un permiso de descarga a cuerpos acuáticos si la carga contaminante en el lugar de origen, en base a un examen de las condiciones en cada caso individual, se mantiene tan baja como lo permitan los procedimientos de ahorro de agua como operaciones de lavado y limpieza, refrigeración indirecta y uso de materias primas y materias auxiliares con bajo nivel de contaminantes.
- ii. Los requisitos de esta Orden no deberán cumplirse mediante procedimientos en los que la contaminación ambiental se transfiera a otro medio ambiental, como atmósfera o suelo, de forma contraria a las mejores técnicas disponibles.
- iii. Los requisitos especificados en forma de niveles de concentración no deberán alcanzarse mediante dilución, contraria a las mejores técnicas disponibles.
- iv. Si se especifican requisitos anteriores a la mezcla, se permitirá la mezcla para poder efectuar un tratamiento conjunto siempre que se consiga al menos la misma reducción global de carga contaminante por parámetro que se conseguiría mediante un cumplimiento separado del requisito correspondiente.
- v. Si se especifican requisitos para el lugar de origen de agua residual, la mezcla sólo será permisible siempre que se cumplan tales requisitos.
- vi. Si se descargan conjuntamente caudales de aguas residuales sujetos a requisitos distintos, el requisito decisivo correspondiente para cada parámetro se determinará mediante aligación.
- vii. Si en los Apéndices aplicables se imponen requisitos que regulen el lugar de origen del agua residual antes de la mezcla, los párrafos iv y v permanecerán sin verse afectados.

Los requisitos hacen referencia al punto en el que se descarga el agua residual en el cuerpo acuático y, si se especifica en los apéndices a esta orden, también al lugar de origen de las aguas residuales o el lugar antes de la mezcla de las mismas. El punto de descarga es sinónimo de la salida de la planta de aguas residuales donde el agua residual ha recibido el último tratamiento. El lugar anterior a la mezcla es también el punto de descarga a una planta pública de tratamiento de aguas residuales.

Si un nivel especificado por esta orden no se cumpliera en base a los resultados del análisis en el contexto de la monitorización oficial, se considerará no obstante que se ha cumplido siempre que los resultados de este análisis oficial y de los cuatro anteriores no superen el nivel en cuatro de los cinco casos y ninguno de los resultados supere el nivel en más del 100 %. Se desestimarán los análisis realizados que tengan una antigüedad de más de tres años.

Las producciones de los sectores específicos se cubren en los Anexos a esta reglamentación. Los anexos relevantes para el sector químico son:

- Anexo 22 (Industria química)
- Anexo 36 (Producción de hidrocarburos)

### Apéndice 22 sobre la Industria Química

#### “A. Ámbito de aplicación

(1) Este Apéndice se aplicará a las aguas residuales provenientes principalmente de la producción de sustancias mediante técnicas químicas, bioquímicas o físicas, incluso el correspondiente pretratamiento, tratamiento intermedio y postratamiento.

(2) Este Apéndice no se aplicará a descargas de aguas residuales de menos de 10 m<sup>3</sup> por día.

(3) Para aguas residuales derivadas de formulación (es decir, la fabricación de sustancias y preparaciones mediante mezcla, disolución o envasado) que se descarguen sin ser mezcladas con otras aguas residuales incluidas en el ámbito de aplicación de este Apéndice, sólo se aplicará la parte B de este Apéndice.

#### B. Requisitos generales

Sólo se concederá permiso para la descarga de aguas residuales en cuerpos acuáticos si se cumple el requisito de que la carga contaminante en el lugar en que se produce el agua residual se mantenga todo lo baja que lo permitan las siguientes medidas, después de investigar la situación en cada caso individual:

- Uso de técnicas de ahorro de agua, como lavado a contracorriente.
- Múltiple uso y recirculación, por ejemplo con procesos de lavado y purificación.
- Refrigeración indirecta, por ejemplo para enfriar las fases de vapor, en lugar de utilizar condensadores o refrigeradores de chorro.
- Uso de técnicas sin aguas residuales para generar vacío y para purificación del aire residual.
- Retención o recuperación de sustancias a través de la preparación de licores madre y mediante técnicas optimizadas.
- Uso de materias primas y auxiliares poco contaminantes.

Debe presentarse prueba del cumplimiento con los requisitos generales en forma de un registro de aguas residuales.

#### C. Requisitos para aguas residuales en el punto de descarga

(1) Los siguientes requisitos son aplicables a las aguas residuales en el punto de descarga al cuerpo acuático:

##### 1. Demanda química de oxígeno (DQO)

- a) Para caudales de aguas residuales cuya concentración de DQO en el punto de producción del agua residual sea de más de 50000 mg/l, será aplicable una concentración de DQO 2500 mg/l
- b) Para más de 750 mg/l, será aplicable una concentración de DQO equivalente a una reducción de DQO del 90 %
- c) Para 750 mg/l o menos, será aplicable una concentración de DQO de 75 mg/l.
- d) Para menos de 75 mg/l, será aplicable la concentración real de DQO en el lugar de producción. También se considerará que se han cumplido los requisitos siempre que se cumpla una concentración de DQO de 75 mg/l en una muestra aleatoria cualificada o en una muestra compuesta de dos horas, con debido respeto a la parte B.

2. Nitrógeno total como suma del nitrógeno de amoníaco, nitritos y nitratos (N<sub>tot</sub>): 50 mg/l en la muestra aleatoria cualificada o muestra compuesta de 2 horas. En el permiso de evacuación de aguas puede especificarse una concentración más alta de hasta 75 mg/l, siempre que se respete una reducción del 75% en la carga de nitrógeno. También se considerará que se ha cumplido el valor establecido si se respeta el valor definido como "total nitrógeno combinado (TN<sub>b</sub>)".

3. Fósforo total: 2 mg/l en la muestra aleatoria cualificada o muestra compuesta de 2 horas. Este requisito se considerará cumplido siempre que se respete el nivel definido como "compuestos de fósforo como fósforo total".
4. Toxicidad
- |                                   |                |   |     |
|-----------------------------------|----------------|---|-----|
| Toxicidad para peces              | T <sub>F</sub> | = | 2   |
| Toxicidad con Daphnia             | T <sub>D</sub> | = | 8   |
| Toxicidad para algas              | T <sub>A</sub> | = | 16  |
| Test con bacterias luminiscentes  | T <sub>L</sub> | = | 32  |
| Potencial mutagénico (ensayo umu) | T <sub>M</sub> | = | 1.5 |

Los requisitos hacen referencia a una muestra aleatoria cualificada o muestra compuesta de 2 horas.

- (2) Si se aplican medidas integradas en el proceso para reducir la carga de DQO mediante un acuerdo con las autoridades reguladoras del agua, se utilizará como base la carga decisiva antes de la aplicación de la medida.
- (3) Para demanda química de oxígeno (DQO), la carga total en 0,5 o 2 horas deberá estar limitada en el permiso de evacuación de aguas. La carga total es la suma de las cargas individuales de los caudales de aguas residuales individuales. La carga total que no debe superarse hace referencia a la muestra aleatoria cualificada o a la muestra aleatoria de 2 horas y el caudal volumétrico en 0,5 o 2 horas correspondiente al muestreo.

**D. Requisitos del agua residual antes de la mezcla**

- (1) Los siguientes requisitos se aplicarán a aguas residuales antes de su mezcla con otras aguas residuales:

<b>Halógenos orgánicos adsorbibles (AOX)</b>	
a) Agua residual de la fabricación de epiclohidrina, óxido de propileno y óxido de butileno	3 mg/l
b) Agua residual de la fabricación en dos etapas de acetaldehído	80 g/t
c) Agua residual de la fabricación en una etapa de acetaldehído	30 g/t
d) Agua residual de la fabricación de colorantes orgánicos y productos intermedios aromáticos relacionados con AOX, cuando se utilizan predominantemente para fabricar colorantes orgánicos	8 mg/l
e) Agua residual de la fabricación de ingredientes farmacéuticos activos relacionados con AOX	8 mg/l
f) Agua residual de la fabricación de hidrocarburos clorados de C1 mediante cloración de metano y esterificación de metanol, y de tetracloruro de carbono y percloroetano por percloración.	10 g/t
g) Agua residual de la fabricación de 1,2 dicloroetano (EDC), incluyendo proceso ulterior a cloruro de vinilo (VC) (nota: el nivel de carga hace referencia a la capacidad de producción de EDC purificado. La capacidad debe especificarse teniendo en cuenta la porción de EDC que no se craquea en la unidad de VC vinculada a la unidad de producción de EDC y que se devuelve al ciclo de producción en la planta de purificación de EDC	2 g/t
h) Agua residual de la fabricación de cloruro de polivinilo (PVC)	5 g/t
i) Caudales de aguas residuales con una concentración de AOX de más de 0,1 mg/l y menos de 1 mg/l sin medidas específicas	0,3 mg/l
j) Caudales de aguas residuales de la fabricación, proceso ulterior y aplicación de sustancias que no están reguladas separadamente en otros lugares si se alcanza la concentración de más de 1 mg/l o de menos de 1 mg/l con medidas específicas	1 mg/l o 20 g/t
El nivel de carga hace referencia a la capacidad de los productos orgánicos objetivo. No hace referencia a la aplicación de sustancias.	

Otras sustancias		
	Muestra aleatoria cualificada o muestra compuesta de 2 horas (mg/l)	
Mercurio	0,05	0,001
Cadmio	0,2	0,005
Cobre	0,5	0,1
Níquel	0,5	0,05
Plomo	0,5	0,05
Cromo total	0,5	0,05
Zinc	2	0,2
Estaño	2	0,2

Los requisitos de la columna I son aplicables a caudales de aguas residuales de la fabricación, proceso ulterior y aplicación de estas sustancias. Los requisitos de la columna II hacen referencia a caudales de aguas residuales que no se originan en la fabricación, proceso ulterior y aplicación de estas sustancias, pero que no obstante están contaminadas con dichas sustancias por debajo de los niveles de concentración de la columna I.

- (2) Una vez cumplidos los requisitos de AOX y los requisitos generales según la parte B, los requisitos del Apéndice 48, parte 10 se considerarán también como cumplidos.
- (3) Los requisitos de AOX no serán aplicables a sustancias orgánicas yodadas en aguas residuales de la fabricación y envasado de medios de contraste radiográficos.
- (4) Para halógenos orgánicos adsorbibles (AOX) y las sustancias limitadas en el párrafo (1), punto 2, la carga total por parámetro en 0,5 o 2 horas deberá estar limitada en el permiso de evacuación de aguas. La carga total correspondiente se deriva de la suma de las cargas individuales de los caudales individuales de aguas residuales. La carga total que no debe rebasarse se refiere a la muestra aleatoria cualificada o la muestra compuesta de 2 horas y al caudal volumétrico de agua residual en 0,5 o 2 horas correspondiente al muestreo.
- (5) Un caudal de agua residual sólo puede mezclarse con otras aguas residuales sujeto a que se pueda probar que la carga de carbono orgánico total (COT) de este caudal de agua residual, determinada para el lugar de generación se reduzca globalmente en un 80 %. Este requisito no se aplicará cuando la carga de COT residual descargada desde el caudal de agua residual correspondiente a cuerpos acuáticos no supere los 20 kilogramos por día o 300 kilogramos por año, o 1 kilogramo por tonelada de la capacidad de producción del producto orgánico objetivo. Al probar la reducción de la carga, en el caso de plantas de tratamiento fisicoquímico de aguas residuales, se utilizará como base el nivel de eliminación de COT de tales plantas, mientras que en el caso de plantas de tratamiento biológico de aguas residuales, se empleará como base el resultado de un estudio conforme al número 407 del Anexo al Artículo 4.

**E. Requisitos para aguas residuales en el lugar de producción**

- (1) Para cromo VI, debe respetarse una concentración de 0,1 mg/l en la muestra aleatoria.
- (2) Para halógenos orgánicos, debe respetarse una concentración de 10 mg/l en la muestra aleatoria. Este requisito se considerará cumplido siempre que se alcance antes de la entrada en un sistema de alcantarillado, sin riesgo previo de pérdidas por fugas y sin que el agua residual haya sido diluida.

**F. Requisitos para descargas existentes**

- (1) Para descargas existentes de aguas residuales de instalaciones que estuvieran en funcionamiento legal antes de 1 de enero de 1999 o cuya construcción hubiese comenzado legalmente antes de esa fecha, las disposiciones de las partes A, B, C y D sólo serán aplicables en la medida en que no se especifiquen requisitos contrarios en los párrafos (2) a (5).
- (2) No obstante la parte B, la prueba de la conformidad con las exigencias generales en un registro de aguas residuales sólo debe aportarse para el 90 % de las cargas totales relacionadas con el parámetro en cada caso. El uso de técnicas sin aguas residuales para generar un vacío y para la purificación de aire residual sólo debe ser ensayado para los parámetros especificados en las partes D y E. Los ensayos adicionales con respecto a otros parámetros son innecesarios.
- (3) Los requisitos de la parte C relativos a DQO no se aplicarán a las aguas residuales de la fabricación de poliacrilonitrilo.
- (4) No obstante la parte D, los siguientes requisitos de AOX serán aplicables a los siguientes caudales de aguas residuales antes de su mezcla con otras aguas residuales:

1. Aguas residuales de la producción de EDC, incluido el proceso ulterior a VC: 5 g/t (capacidad de producción de EDC purificado)
2. Aguas residuales de la fabricación de PVC: 1 mg/l o 20 g/t
- (5) Los requisitos relativos al potencial mutagénico (test de umu) conforme a la parte C, párrafo (1), y de TOC conforme a la parte C, párrafo (5), no serán aplicables."

#### Apéndice 36 sobre Producción de hidrocarburos

##### "A. Ámbito de aplicación

- (1) Este Apéndice se aplicará a las aguas residuales cuya carga contaminante se origine principalmente de las siguientes áreas de producción de hidrocarburos:
  - o La producción de determinados hidrocarburos, principalmente olefínicos, de 2 a 4 átomos de carbono, así como benceno, tolueno y xileno a partir de productos de petróleo mediante cracking con la ayuda de vapor (cracking al vapor).
  - o La producción de hidrocarburos puros o de ciertas mezclas de hidrocarburos a partir de productos de productos de petróleo mediante métodos de separación física.
  - o La conversión de hidrocarburos en otros hidrocarburos mediante las técnicas químicas de hidratación, deshidratación, alquilación, desalquilación, hidrodesalquilación, isomerización y desproporcionamiento.
  - o Esto incluirá asimismo toda agua de precipitación que entre en contacto con hidrocarburos en la zona de proceso de la planta de producción.
- (2) Este Apéndice no será aplicable a aguas residuales de la producción de parafinas puras a partir de cera de petróleo microcristalina ("slack wax"), del refino de petróleo, de sistemas de refrigeración indirecta, o de otras instalaciones de tratamiento de aguas de proceso.

##### B. Requisitos generales

No se imponen requisitos por encima y más allá del Artículo 3.

##### C. Requisitos para aguas residuales en el punto de evacuación

- (1) Los siguientes requisitos son aplicables a las aguas residuales en el punto de evacuación al cuerpo acuático:

	<b>Muestra aleatoria cualificada o muestra compuesta de 2 horas (mg/l)</b>
Demanda química de oxígeno (DQO)	120
Demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO <sub>5</sub> )	25
Nitrógeno total como suma de nitrógeno de amoníaco, nitritos y nitratos (N <sub>tot</sub> )	25
Fósforo total	1,5
Hidrocarburos totales	2

- (2) Para DQO, puede permitirse una concentración de hasta 190 mg/l en la muestra aleatoria cualificada o muestra compuesta de 2 horas, siempre que la carga de DQO se reduzca al menos un 80 % en una planta central de tratamiento de aguas residuales. La reducción en la carga de DQO hace referencia a la relación entre la carga de DQO del efluente del separador de aceite-agua por gravedad y la del efluente de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales a lo largo de un periodo de tiempo representativo no superior a 24 horas.
- (3) Para el nitrógeno total, es permisible una concentración más elevada, siempre que la carga de nitrógeno se reduzca en al menos un 75 % en una planta central de tratamiento de aguas residuales. La reducción en la carga de nitrógeno hace referencia a la relación entre la carga de nitrógeno del efluente del separador de aceite-agua por gravedad y la del efluente de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales a lo largo de un periodo de tiempo representativo no superior a 24 horas. El nitrógeno total combinado (TN<sub>b</sub>) debe usarse como base para calcular las cargas.

##### D. Requisitos sobre aguas residuales antes de su mezcla

Los siguientes requisitos serán aplicables a las aguas residuales antes de su mezcla con otras aguas residuales:

	<b>Muestra aleatoria cualificada o muestra compuesta de 2 horas (mg/l)</b>	<b>Muestra aleatoria (mg/l)</b>
Halógenos orgánicos adsorbibles (AOX)	-	0,1
Índice fenólico tras destilación y extracción de colorantes	0,15	-
Benceno y derivados	0,05	-
Azufre en sulfuros y en mercaptanos	0,6	-

Si la producción de hidrocarburos también incluye la fabricación de etilbenceno y cumeno, será aplicable un nivel de AOX de 0,15 mg/l.

E. Requisitos sobre aguas residuales para el lugar de producción

Las aguas residuales de la producción de etilbenceno y cumeno no deberán superar un nivel de 1 mg/l para halógenos orgánicos adsorbibles(AOX) en la muestra aleatoria.”

**7. GRECIA**

No se ha facilitado información.

**8. IRLANDA**

Emisiones a la atmósfera:

Las condiciones de referencia para concentraciones de sustancias en emisiones a la atmósfera de fuentes contenidas son:

Para gases no de combustión:                      Temperatura: 273 K  
 Presión: 101,3 kPa  
 Sin corrección por vapor de agua

Para gases de combustión:                        Temperatura: 273 K  
 Presión: 101,3 kPa  
 Gas seco  
 Contenido de oxígeno: 3 % (seco) para combustible líquido y gaseoso  
 6 % (seco) para combustible sólido

La consecución de concentraciones dentro del valor límite de emisión (VLE) mediante la introducción de aire de dilución no está permitida.

Para emisiones monitorizadas de forma continua, se requerirá lo siguiente para el cumplimiento de las medidas en base a valores medios de 30 minutos (a menos que se indique lo contrario):

- i. El 97 % de todas las mediciones medias de 30 minutos deberá estar por debajo de 1,2 veces el límite de emisión.
- ii. Ninguna medición de 30 minutos deberá exceder 2,0 veces el límite de emisión.
- iii. Todos los valores medios diarios deberán ser inferiores al límite de emisión.

Si se utiliza monitorización periódica para comprobar el cumplimiento, todas las muestras deberán cumplir las condiciones autorizadas.

Valores límite de emisión para la producción de fertilizantes		
Proceso	Fuente	VLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
Producción de nitrato amónico	Torres Prill	
	- partículas	15
	- amoniaco	10
	Neutralizadores/reactores/enfriadores/secadores	30
Producción de nitrato amónico	- partículas	50
	- amoniaco	
Producción de nitrato amónico	Evaporadores	
	- partículas	15
Producción de nitrato amónico	- amoniaco	50
	Producción de fosfato amónico	
Producción de fosfato amónico	- partículas	15
	- amoniaco	10
Producción de otros fertilizantes	- partículas	50
	- óxidos de azufre (como SO <sub>2</sub> )	200
	- óxidos de nitrógeno (como NO <sub>2</sub> )	200
	- amoniaco	50
	- fluoruros (como HF)	10

Valores límite de emisión para la producción de ácido sulfúrico	
Proceso	Porcentaje de conversión mínimo (SO <sub>2</sub> a SO <sub>3</sub> )
Nuevo proceso	Estado estable: 99,7 % Arranque: 98 % (media horaria durante las primeras 5 horas)

Valores límite de emisión para la producción de amoniaco		
Fuente	Emisión	VLE (mg/Nm <sup>3</sup> )
Plantas de reforma por vapor	Oxidos de nitrógeno (como NO <sub>2</sub> al 3 % O <sub>2</sub> )	450
	Dióxido de azufre (combustión a gas natural)	2
	Monóxido de carbono	10
	Emisiones difusas	1 t/año
	Oxidos de nitrógeno (emisiones no continuas como NO <sub>2</sub> )	20 kg/h
	Lavador de gas de purga	40 g NH <sub>3</sub> por tonelada de NH <sub>3</sub> producida
Plantas de oxidación parcial – Gas de combustión de calderas auxiliares	Dióxido de azufre	1700
	Oxidos de nitrógeno (como NO <sub>2</sub> )	700
	Monóxido de carbono (máximo horario) (media diaria)	175 10
	Partículas (máximo horario) (ingrediente activo) (media diaria)	50 10
	Plantas de oxidación parcial – Gas de combustión de sobrecalentadores de vapor	Oxidos de nitrógeno (as NO <sub>2</sub> )
	Dióxido de azufre (combustión a gas natural)	2
	Monóxido de carbono	30
	Sulfuro de hidrógeno	0,3
	Metanol	100

Valores límite de emisión para materias específicas		
Parámetro	mg/Nm <sup>3</sup>	Umbral de flujo de masa para VLE
Cadmio	0,1	>1 g/h
Cloruros (como HCl)	10	>0,3 kg/h
Yoduros (como HI)	5	>50 g/h
Disulfuro de carbono	5	>0,1 kg/h
Cianuro de hidrógeno	2	>50 g/h
Mercaptanos	2	>0,1 kg/h
Aminas (total)	10	>0,1 kg/h
Trimetilamina	2	>0,1 kg/h
Fenoles / cresoles / xiloles	10	>0,1 kg/h
1,2-Dicloroetano	5	>0,1 kg/h
Polvo – contaminado por pesticida <sup>a</sup>	0,15	>1 g/h
Polvo – farmacéutico <sup>a</sup>	0,15	>1 g/h
Bromo	10	>50 g/h
Cloro	10	>50 g/h
Yodo	10	>50 g/h
Mercurio	0,1	>1 g/h
Total metales pesados	1,5	>5 g/h
Oxidos de nitrógeno (como NO <sub>2</sub> )	300	>3 kg/h
Oxidos de azufre (como SO <sub>2</sub> )	300	>3 kg/h
Partículas - generales	20	>0,5 kg/h
1,1-Dicloroetano	5	>0,1 kg/h
Acrlonitrilo	20	>0,1 kg/h
Diisocianato de tolueno	1	>0,1 kg/h
Acrlato de etilo	1	<sup>b</sup>
Acrlato de isobutilo	1	<sup>b</sup>
Acrlato de metilo	5	<sup>b</sup>
Acrlato de n-butilo	5	<sup>b</sup>
Acrlato de t-butilo y ésteres de acrlato superiores	20	<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Polvo como ingrediente activo  
<sup>b</sup> Sólo aplicable a ventilaciones de almacenaje de gran volumen (>20 toneladas)

Valores límite de emisión para emisiones generales a la atmósfera (excluyendo emisiones de incineradores) para materias no cubiertas en las tablas anteriores				
Grupo constituyente <sup>a</sup> o parámetro	Clase	Umbral de flujo de masa para VLE <sup>b</sup>	VLE (mg/Nm <sup>3</sup> )	
Sustancias cancerígenas	T.A. Luft I	>0,5 g/h	0,1	
	T.A. Luft II	>5,0 g/h	1,0	
	T.A. Luft III	>25,0 g/h	5,0	
	Sustancias (aparte de las anteriores) con designación R45)		>0,5 kg/h	5,0
Partículas de polvo inorgánico	T.A. Luft I	>1 g/h	0,2	
	T.A. Luft II	>5 g/h	1,0	
	T.A. Luft III	>25 g/h	5,0	
Sustancias inorgánicas vaporosas o gaseosas	T.A. Luft I	>10 g/h	1	
	T.A. Luft II	>50 g/h	5	
	T.A. Luft III	>0,3 kg/h	30	
	T.A. Luft IV	>5,0 kg/h	500	
Sustancias orgánicas con potencial de ozono fotoquímico – POCP	U.K. AEA 1	>0,5 kg/h	20	
	U.K. AEA 2	>2,0 kg/h	50	
Sustancias orgánicas <sup>c</sup>	T.A. Luft I	>0,1 kg/h	20	
	T.A. Luft II	>2,0 kg/h	100	
	T.A. Luft III	>3,0 kg/h	150	
Polvo en general		<0,5 kg/h	150	
		>0,5 kg/h	20	
Polvo de fármacos y pesticidas		>1 g/h	0,15	
Emisiones fugitivas			<sup>d</sup>	

Notas a la tabla:

<sup>a</sup> Cuando una sustancia cae en más de una categoría, se aplica el VLE inferior.

<sup>b</sup> El flujo de masa se calcula en kg/h para el gas crudo y se determina en el punto antes de cualquier planta de limpieza o eliminación de gas, pero después de todos los dispositivos inherentes al proceso (ej. después de los condensadores del reactor o los ciclones de producto). El flujo de masa es la emisión máxima que puede ocurrir durante un periodo cualquiera de una hora de funcionamiento de una planta, de todo el complejo. Cuando el flujo de masa supera el umbral de masa, se requerirá eliminación hasta el VLE apropiado, a menos que la concentración en el gas crudo esté ya por debajo del VLE, en cuyo caso no se requerirá eliminación adicional.

<sup>c</sup> Cuando haya sustancias orgánicas de varias clases, además del límite arriba indicado, la suma de las clases I y II no deberá exceder el límite de la clase II, y la suma de las clases I, II I III no deberá exceder el límite de la clase III.

<sup>d</sup> Las emisiones fugitivas de disolventes deberán cumplir el requisito de la Directiva sobre Disolventes (Directiva del Consejo 1999/13/CE [cww/tm/88]) o de la licencia según proceda.

Emisiones al agua:

Los VLE para descargas al agua están basados en muestras compuestas proporcionales al flujo de 24 horas, a menos que se especifique lo contrario.

La carga de los efluentes debe minimizarse mediante la recuperación de materias cuando sea practicable. En algunas partes del proceso es posible que pueda utilizarse agua de menor calidad en lugar de agua fresca.

Excluyendo el agua de lluvia sin contaminar, las emisiones al agua están sujetas a una licencia de la Agencia de Protección Medioambiental. No obstante, cualquier descarga a una alcantarilla requerirá el consentimiento de la autoridad local o de la empresa explotadora del alcantarillado. Las mejores técnicas disponibles sin costes excesivos (BATNEEC) para minimizar la emisión de sustancias incluirán generalmente la minimización en origen y tratamiento específico de las corrientes residuales contaminadas para eliminar sustancias particulares, o el co-tratamiento de corrientes de efluentes combinados, o ambos métodos.

Valores Límite de Emisión para descargas al agua <sup>a</sup>		
Grupo constituyente o parámetro	VLE	Nota
pH	6-9	5
Nº de unidades de toxicidad	10	2, 5
Nitrógeno total (como N)	>80 % de eliminación o 15 mg/l	5
Fósforo total (como P)	>80 % de eliminación o 2 mg/l	5
Amoniaco total (mg/l como N)	10	5
Aceites y grasas (mg/l)	10	5
Organohalogenados (mg/l)	0,1 (medias mensuales)	4, 5
Fenoles (mg/l)	1,0	5
Cianuro (mg/l como CN)	0,2	5
Mercurio (mg/l)	0,05	5, 7
Estaño (mg/l)	2,0	5, 7
Plomo (mg/l)	0,5	5, 7
Cromo(VI) (mg/l como Cr)	0,1	5, 7
Cromo total (mg/l como Cr)	0,5	5, 7
Cadmio (mg/l)	0,05	5, 7
Zinc (mg/l)	0,5	5, 7
Cobre (mg/l)	0,5	5, 7
Aceite mineral (mg/l) separadores	20	5
Aceite mineral (mg/l) tratamiento biológico	1,0	5
Directiva 76/464/CE, Lista 1	según lista 1	
BTX (mg/l combinados)	0,1 (medias mensuales)	
Organismos modificados genéticamente	según Directiva 90/219/EEC y S.I. Nº 345 de 1994	
BOD	≥91 % de eliminación total	1
DQO	≥75 % de eliminación total	1, 6
Contaminación de peces	sin contaminación	3

### Notas a la tabla:

<sup>a</sup> Todos los valores se refieren a medias diarias, excepto si se indica lo contrario, y excepto el pH, que está referido a valores continuos.

<sup>1</sup> La carga residual cruda diaria para DBO/DQO se define como la masa diaria media que se genera para tratamiento durante un periodo de tres meses. El cálculo de los índices de eliminación de DBO/DQO deberá estar basado en las diferencias entre las cargas residuales generadas para desecho y las descargas a las aguas receptoras. Las cantidades eliminadas por tratamiento (físico, químico, biológico) pueden ser incluidas en el cálculo. El cálculo de las cargas residuales crudas de DBO/DQO deberá excluir toda carga residual asociada con la eliminación de biomasa de células microbianas y recuperación de disolventes. Para determinados efluentes específicos en los que los índices de eliminación de DBO/DQO son inalcanzables, un límite de concentración puede ser más apropiado. Este será un aspecto a incluir en licencia.

<sup>2</sup> Unidad de toxicidad = 100/x hora E(L)C50 en % vol., donde x viene definida por el procedimiento de ensayo. Debe determinarse la toxicidad del efluente del proceso para un mínimo de dos especies acuáticas apropiadas.

<sup>3</sup> Ninguna sustancia deberá ser descargada de un modo, o a una concentración que, tras la dilución inicial, cause contaminación de peces o mariscos, interfiera con los patrones normales de migración de peces o se acumule en sedimentos o tejidos biológicos en detrimento de peces, la fauna salvaje o sus depredadores.

<sup>4</sup> En el plazo de 6 meses del inicio de la producción (o según pueda ser relevante en base a una campaña), el efluente deberá ser analizado, para obtener una lista de contaminantes prioritarios.

<sup>5</sup> Las condiciones de autorización para la descarga de estos parámetros a plantas de tratamiento municipales podrán establecerse con la autoridad que concede la licencia u podrán aplicarse valores distintos.

<sup>6</sup> Este límite es aplicable sólo a:

- Fabricación de productos químicos en una instalación química integrada.
- Fabricación de olefinas y sus derivados o monómeros y polímeros, incluidos estireno y cloruro de vinilo.
- Fabricación, mediante procesos de reacción química, de productos orgánicos u organometálicos.
- Fabricación de pesticidas, productos farmacéuticos o veterinarios y sus compuestos intermedios.

<sup>7</sup> Si el contenido metálico del efluente es debido a un contaminante inevitable de las materias primas, estos límites podrían no ser aplicables.

## **9. ITALIA**

### **Emisiones a la atmósfera**

#### **"Valores límite de emisión para la contención de emisiones de contaminantes de plantas existentes"**

[Suplemento ordinario N. 51 alla Gazzetta Ufficiale Italiana n. 176 del 30 luglio 1990 – Serie generale]

[Suplemento ordinario N° 51 al Boletín Oficial Italiano n° 176 del 30 de julio de 1990 — Serie general]

Los valores límite de emisión para plantas existentes (es decir, plantas construidas o autorizadas antes de la aprobación de la ley arriba indicada) vienen establecidos por tres Anexos:

El Anexo 1 reporta valores límite de emisión generales

Los Anexos 2 y 3 detallan límites y prescripciones específicas para las actividades en él reportadas.

El Anexo 4 reporta métodos de muestreo, análisis y evaluación de emisiones.

El Anexo 5 reporta técnicas de eliminación.

El Anexo 6 reporta emisiones difusas.

El Anexo 7 reporta emisiones fugitivas.

Nótese que:

Sólo un extracto del Anexo 2 se reporta en este documento.

Todavía no se han establecido valores de límites de emisión para plantas nuevas en Italia.

### **ANEXO 1 (VALORES LIMITE DE EMISION GENERALES):**

1.1 Sustancias consideradas como cancerígenas y/o teratogénicas y/o mutagénicas (Tabla A1)

1.2 Sustancias con muy alta toxicidad y bioacumulabilidad (Tabla A2)

2. Sustancias inorgánicas, preferiblemente en forma de polvo (Tabla B)

3. Sustancias inorgánicas, preferiblemente en forma de gas y vapor (Tabla C)

4. Sustancias orgánicas en forma de gas, vapor o polvo (Tabla D)

5. Polvo total

**ANEXO 2 (LÍMITES DE EMISIÓN ESPECÍFICOS PARA LAS PLANTAS LISTADAS A CONTINUACIÓN):**

1. Plantas de combustión con potencia térmica <50 MW
2. Plantas de desecación
3. Motores de combustión interna
4. Turbinas de gas fijas
5. Incineradores de residuos
6. Plantas de cemento
7. Hornos para la calcinación de bauxita, dolomita, yeso, piedra caliza, diatomita, magnesita, cuarcita
8. Hornos para la producción de vidrio
9. Hornos para la cocción de productos de cerámica de arcilla
10. Plantas para la fusión de productos minerales, en particular de basalto, diabasa o escoria
11. Plantas para la producción de baldosas y azulejos de cerámica
12. Plantas para la aglomeración de perlita, esquisto o arcilla expandida
13. Plantas para la producción o la fusión de compuestos de bitumen de alquitranes, y productos minerales incluidas las plantas para la preparación de materiales para construcción de carreteras basados en bitumen y plantas para la producción de cascos de alquitrán
14. Plantas de destilación de carbón seco (coquerías)
15. Plantas para la aglomeración de mineral de hierro
16. Plantas para la producción de hierro en lingotes
17. Plantas para la producción de acero por convertidor. Hornos de arco eléctricos y hornos de fusión al vacío
18. Fundición de hierro y de acero
19. Hornos de tratamiento térmico para plantas de laminación y otros tratamientos
20. Plantas para acabado de superficies metálicas con zinc fundido
21. Plantas para tratamiento de superficies metálicas con ácido nítrico
22. Plantas para la producción de aleaciones de hierro por procesos electrotérmicos o pirometalúrgicos
23. Plantas para la producción primaria de procesos metálicos no férreos
24. Plantas para la producción de aluminio
25. Plantas para la fusión de aluminio
26. Plantas para la fusión secundaria de otros metales no férreos y sus aleaciones
27. Plantas para la producción de acumuladores de plomo
28. Plantas para la producción de óxido de azufre, ácido sulfúrico y óleum
29. Plantas para la producción de cloro
30. Plantas de Claus para la producción de azufre
31. Plantas para la producción, granulación y desecación de fertilizantes que contienen fósforo, nitrógeno o potasio
32. Plantas para la producción de acrilonitrilo
33. Plantas para la producción de ingredientes activos de pesticidas
34. Plantas para la producción de cloruro de polivinilo (PVC)
35. Plantas para la producción de polímeros de poliacrilonitrilo
36. Plantas para la producción y fabricación de viscosa
37. Plantas para la producción de ácido nitrosilsulfúrico
38. Plantas para la producción de poliésteres
39. Plantas de producción de fibras de acetato de celulosa
40. Plantas para la producción de fibras de poliamida
41. Plantas para la formulación de pesticidas especiales
42. Plantas para la nitración de celulosa
43. Plantas para la producción de dióxido de titanio
44. Plantas para la producción de fibras acrílicas
45. Plantas para la producción de policarbonato
46. Plantas para la producción de negro de carbono
47. Plantas para la producción de carbono o electrografito con combustión, producción de electrodos de ejemplo
48. Plantas para la pintura en serie de los carrocerías de automoción y sus componentes, con la excepción de carrocerías de autobús
49. Otras plantas de pintura
50. Plantas para la producción de productos de goma
51. Plantas para la impregnación de fibras de vidrio o fibras minerales con resinas
52. Plantas para la producción de azúcar

53. Plantas para extracción y el refinado de petróleo de cáscara verde oliva

54. Plantas para extracción y el refinado de aceites de semillas

**ANEXO 3 (GRANDES PLANTAS DE SERVICIOS Y CAMPOS ESPECIFICOS):**

A: Grandes plantas de combustión

Campo de aplicación

Valores de emisión Plazos de cumplimiento

Técnica de eliminación Funcionamiento incorrecto de las plantas de eliminación

B: Refinerías de petróleo

Campo de aplicación

Valores de emisión

Mediciones

Otras prescripciones

Plazos de cumplimiento de refinerías

C: Plantas para la producción de hidrocarburos y fluidos geotérmicos

Campo de aplicación

Producción de hidrocarburos

Plantas que utilizan fluidos geotérmicos

**ANEXO 4 (METODOS DE MUESTREO. ANALISIS Y EVALUACION DE EMISIONES)**

**ANEXO 5 (TECNICAS DE ELIMINACION)**

Tabla resumen

Criterios de aplicación

**ANEXO 6 (EMISIONES DIFUSAS)**

**ANEXO 7 (EMISIONES FUGITIVAS)**

**ANEXO 1: Umbral de flujo de masa y límites de concentración**

(condiciones normales: 0 °C, 101,3 kPa; valores horarios)

1.1 Sustancias consideradas como cancerígenas y/o teratogénicas y/o mutagénicas (Tabla A1)

**Tabla A1**

Clase I

Si el flujo de masa es igual o superior a 0,5 g/h: 0,1 mg/Nm<sup>3</sup>

- Amianto (crisolita, crocidolita, amosita, antofilita, actinolita y tremolita)
- Benzo(a)pireno
- Berilio y sus compuestos, expresados como Be
- Dibenzo(a,h)antraceno
- 2-Naftilamina y sus sales
- Benzo(a)antraceno
- Benzo(b)fluoranteno
- Benzo(j)fluoranteno
- Benzo(k)fluoranteno
- Dibenzo (a,h) acridina
- Dibenzo(a)pireno

- Dimetilnitrosamina
- 5-Nitroacenafteno
- 2-Nitronaftaleno
- 1-Metil-3-Nitro-1-Nitrosoguanidina

### Clase II

Si el flujo de masa es igual o superior a 5 g/h: 1 mg/Nm<sup>3</sup>

- Arsénico y sus compuestos, expresados como As
- Cromo(VI) y sus compuestos, expresados como Cr
- Cobalto y sus compuestos, expresados como Co
- 3,3'-Diclorobencidina y sus sales
- Sulfato de dimetilo
- Etilenimina
- Níquel y sus compuestos, expresados como Ni
- 4-Aminobifenilo y sus sales
- Bencidina y sus sales
- 4,4'-Metilen-bis(2-cloroanilina) y sus sales
- Sulfato de dietilo
- 3,3'-Dimetilbencidina y sus sales
- Hexametilfosforotriamida
- 2-Metilaziridina
- Acetato de metil azoximetilo
- Sulfalato
- Dimetil carbamoil cloruro
- 3,3'-Dimetoxibenzidina y sus sales

### Clase III

Si el flujo de masa es igual o superior a 25 g/h: 5 mg/Nm<sup>3</sup>

- Acrilonitrilo
- Benceno
- 1,3-Butadieno
- 1-Cloro-2,3-epoxipropano (epiclorhidrina)
- 1,2-Dibromoetano
- 1,2-Epoxipropano
- 1,2-Dicloroetano
- VCM
- 1,3-Dicloro-2-propanol
- Eter clorometil-metílico
- N,N-Dimetilhidracina
- Hidracina
- Oxido de etileno
- Etilentiourea
- 2-Nitropropano
- Bis-Clorometiléter
- 3-Propanolida
- 1,3-Propanosultona
- Oxido de estireno

1.2 Sustancias con toxicidad y bioacumulabilidad muy elevadas (Tabla A2)

**Tabla A2**

Clase I

Si el flujo de masa es igual o superior a 0,02 g/h: 0,01 mg/Nm<sup>3</sup>

- PCDD
- PCDF

Clase II

Si el flujo de masa es igual o superior a 0,5 g/h: 0,5 mg/Nm<sup>3</sup>

- PCB
- PCT
- Policloronaftenos

2. Sustancias inorgánicas, preferiblemente en forma de polvo (Tabla B)

**Tabla B**

Clase I

Si el flujo de masa es igual o superior a 1 g/h: 0,2 mg/Nm<sup>3</sup>

- Cadmio y sus compuestos, expresados como Cd
- Mercurio y sus compuestos, expresados como Hg
- Talio y sus compuestos, expresados como Tl

Clase II

Si el flujo de masa es igual o superior a 5 g/h: 1 mg/Nm<sup>3</sup>

- Selenio y sus compuestos, expresados como Se
- Teluro y sus compuestos, expresados como Te

Clase III

Si el flujo de masa es igual o superior a 25 g/h: 5 mg/Nm<sup>3</sup>

- Antimonio y sus compuestos, expresados como Sb
- Cianuros, expresados como CN
- Cromo(III) y sus compuestos, expresados como Cr
- Manganeso y sus compuestos, expresados como Mn
- Paladio y sus compuestos, expresados como Pd
- Plomo y sus compuestos, expresados como Pb
- Platino y sus compuestos, expresados como Pt
- Cuarzo, pulverizado, en forma de silicio cristalizado, expresado como SiO<sub>2</sub>
- Cobre y sus compuestos, expresados como Cu
- Rodio y sus compuestos, expresados como Rh
- Estaño y sus compuestos, expresados como Sn
- Vanadio y sus compuestos, expresados como V

3. Sustancias inorgánicas, preferiblemente en forma de gas y vapor (Tabla C)

Los flujos de masa y concentraciones hacen referencia a sustancias individuales o familias de sustancias.

**Tabla C**

Clase I

Si el flujo de masa es igual o superior a 10 g/h: 1 mg/Nm<sup>3</sup>

- Clorocianuro
- Fosfina
- Fosgeno

Clase II

Si el flujo de masa es igual o superior a 50 g/h: 5 mg/Nm<sup>3</sup>

- Acido cianhídrico
- Bromuro y sus compuestos, expresados como ácido bromhídrico
- Cloro
- Flúor y sus compuestos, expresados como ácido fluorhídrico
- Sulfuro de hidrógeno

Clase III

Si el flujo de masa es igual o superior a 0,3 kg/h: 30 mg/Nm<sup>3</sup>

- Compuestos inorgánicos de cloro gaseosos o vaporosos, excluyendo clorocianuro y fosgeno, expresados como ácido clorhídrico

Clase IV

Si el flujo de masa es igual o superior a 2 kg/h: 250 mg/Nm<sup>3</sup>

- Amoniaco

Clase V

Si el flujo de masa es igual o superior a 5 kg/h: 500 mg/Nm<sup>3</sup>

- NO<sub>x</sub> (NO y NO<sub>2</sub>), expresados como NO<sub>2</sub>
- SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>), expresados como SO<sub>2</sub>

4. Sustancias orgánicas en forma de gas, vapor o polvo (Tabla D)

**Tabla D**

Clase I

Si el flujo de masa es igual o superior a 25 g/h: 5 mg/Nm<sup>3</sup>

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anisidina</li> <li>• Butilmercaptano</li> <li>• Clorpicrina</li> <li>• Diazometano</li> <li>• Dicloroacetileno</li> <li>• Dinitrobenzeno</li> <li>• Dinitrocresol</li> <li>• Hexaclorobutadieno</li> <li>• Hexaclorociclopentadieno</li> <li>• Hexafluoroacetona</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eter diglicídico</li> <li>• Acrilato de etilo</li> <li>• Etilenimina</li> <li>• Etilmercaptano</li> <li>• Isocianatos</li> <li>• Acrilato de metilo</li> <li>• Nitroglicerina</li> <li>• Perclorometilmercaptano</li> <li>• 1,4-Dioxano</li> </ul> |
|--|---|

Clase II

Si el flujo de masa es igual o superior a 0,1 kg/h:

20 mg/Nm<sup>3</sup>

- Acetaldehído
- Acido cloroacético
- Acido fórmico
- Acido tioglicólico
- Acido tricloroacético
- Anhidrido ftálico
- Anhidrido málico
- Anilina
- Cloruro de bencilo
- Bifenilo
- Acrilato de butilo
- Butilamina
- Alcanfor sintético
- Tetrabromometano
- Tetraclorometano
- Ciclohexilamina
- Cloroacetaldehído
- 1-Cloro-1-nitropentano
- Cresol
- Crotonaldehído
- 1,2-Dibutilaminoetanol
- Dibutilfosfato
- o-Diclorobenceno
- 1,1-Dicloroetano
- Eter dicloroetílico
- Diclorofenol
- Diclorometano
- Dietilamina
- Difenilamina
- Diisopropilamina
- Dimetilamina
- Etilamina
- Etanolamina
- 2-Etoxi-etanol
- Acetato de 2-etoxi-etilo
- Fenol
- Ftalatos
- 2-Furaldehído
- Furfurol
- Triyodometano
- Isoforona
- Isopropilamina
- Metilacrilonitrilo
- Metilamina
- Metilanilina
- Bromometano
- Bromuro de metil n-butilo
- Clorometano
- 2-Cianoacrilato de metilo
- Metilestireno
- 2-Metoxietanol
- Acetato de 2-metoxietanol
- Nitroetano
- Nitrometano
- 1-Nitropropano
- Nitrotolueno
- Piretro
- Piridina
- Alquilos de plomo
- 2-Propenal
- 1,1,2,2-Tetracloroetano
- Tetracloroetano
- Tetranitrometano
- m- y p-Toluidina
- Fosfato de tributilo
- Triclorofenol
- Tricloroetano
- Triclorometano
- Trietilamina
- Trimetilfosfina
- Bromuro de vinilo
- Xilenos (excluido 2,4-xileno)
- Formaldehído

Clase III

Si el flujo de masa es igual o superior a 2 kg/h:

150 mg/Nm<sup>3</sup>

- Acido
- acrílico
- Acetonitrilo
- Acido propiónico
- Acido acético
- n-Butanol
- i-Butanol
- sec-Butanol
- tert-Butanol
- Metanol
- Butiraldehído
- p-tert-Butiltolueno
- 2-Butoxietanol
- Caprolactama
- Disulfuro de carbono
- Ciclohexanona
- Ciclopentadieno
- Clorobenceno
- 2-Cloro-1,3-butadieno
- o-Cloroestireno
- o-Clorotolueno
- p-Clorotolueno
- Cumeno
- Diacetonol (4-hidroxi-4-metil-2-pentanona)

- 1,4-Diclorobenceno
- 1,1-Dicloroetano
- Dicloropropano
- Dietanolamina
- Dietilformamida
- Diisobutilcetona
- N,N-Dimetilacetamida
- N,N-Dimetilformamida
- Dipropilcetona
- Hexametilendiamina
- n-Hexano
- Etilamilcetona
- Etilbenceno
- Etilbutilcetona
- Etilenoglicol
- Eter isobutilglicídico
- Isopropoxietanol
- Metacrilato de metilo
- Metilamilcetona
- o-Metilciclohexanona
- Metil cloroformo
- Metilformiato
- Metilisobutilcetona
- Metilisobutilcarbinol
- Naftaleno
- Propilenoglicol
- Eter propilenoglicol monometílico
- Propionaldehído
- Estireno
- Tetrahidrofurano
- Trimetilbenceno
- n-Veratraldehído
- Acetato de vinilo
- Viniltolueno
- 2,4-Xileno

#### Clase IV

Si el flujo de masa es igual o superior a 3 kg/h:

300 mg/Nm<sup>3</sup>

- Propanol
- Isopropanol
- n-Amil acetato
- Metil benzoato
- Acetato de n-butilo
- Acetato de isobutilo
- Dietilcetona
- Difluorodibromometano
- Aceetato de sec-hexilo
- Formiato de etilo
- Acetato de metilo
- Metiletilcetona
- Metilisopropilcetona
- N-Metilpirrolidona
- Pinano
- Acetato de n-propilo
- Acetato de isopropileno
- Tolueno
- Xileno

#### Clase V

Si el flujo de masa es igual o superior a 4 kg/h:

600 mg/Nm<sup>3</sup>

- Acetona
- Etanol
- Butano
- Ciclohexano
- Ciclohexeno
- Cloropentano
- Clorobromometano
- Clorodifluorometano
- Cloropentafluoroetano
- Dibromodifluoroetano
- Eter dibutílico
- Diclorofluorometano
- Diclorotetrafluoroetano
- Eter dietílico
- Eter diisopropílico
- Eter dimetílico
- Heptano
- Hexano (técnico)
- Eter isopropílico
- Aceetato de etilo
- Metilacetileno
- Metilciclohexano
- Pentano
- 1,1,1,2-Tetracloro-2,2-difluoroetano
- 1,1,2,2-Tetracloro-1,2-difluoroetano
- Triclorofluorometano
- 1,1,2-Tricloro-1,2,2-trifluoroetano
- Trifluorometano
- Trifluorobromometano

**5. Polvo total**

Los valores de emisión son:

Clase I

Si el flujo de masa es igual o superior a 0,5 kg/h: 50 mg/Nm<sup>3</sup>

Clase II

Si el flujo de masa es igual o superior a 0,1 kg/h y se mantiene por debajo de 0,5 kg/h: 150 mg/Nm<sup>3</sup>

Amianto (partículas en suspensión y fibras): El valor límite de emisión no debe superar 0,1 mg/Nm<sup>3</sup> [DLGS 17/03/1995, n. 114 Gazz. Uff. – Serie generale n. 92 del 20 Aprile 1995]

**Extracto del Anexo 2**

**32. Instalaciones para la producción de acrilonitrilo**

El gas residual producido por el reactor y el absorbedor debe quemarse. La emisión gaseosa producida durante los productos de purificación de los productos de reacción por destilación, así como la procedente de la transferencia de compuestos, debe ser enviada a sistemas de eliminación adecuados.

**34. Instalaciones para la producción de PVC**

Los residuos de VCM (cloruro de vinilo monómero) en el polímero deben reducirse a valores mínimos, especialmente en los límites entre el sistema abierto y cerrado; el valor final se alcanza con una reducción ulterior de la concentración de cloruro de vinilo en la corriente gaseosa que sale del secador.

Flujo de masa de PVC	10 mg VCM/kg PVC
Homopolímeros en suspensión	100 mg VCM/kg PVC
Copolímeros en suspensión	400 mg VCM/kg PVC
PVC en microsuspensión y emulsión de PVC	1500 mg VCM/kg PVC

La corriente gaseosa que sale del secador debe utilizarse como materia prima en una planta de combustión, para la reducción ulterior de la concentración de cloruro de vinilo.

**Emisiones al agua**

Las disposiciones para la protección del agua contra la contaminación y la adopción de la Directiva del Consejo 91/271/CEE relativa al tratamiento de aguas residuales urbanas, así como de la Directiva del Consejo 91/676/CEE relativa a la protección de aguas contra la contaminación causada por nitratos de origen agrícola [Decreto legislativo de 11 de mayo 1999, n° 152, actualizado por D. Lgs de 18 de agosto 2000, n° 258].

Valores límite de emisión para descargas de aguas residuales a cuerpos acuáticos superficiales en sistemas de alcantarillado municipales.

Parámetro	Unidad	Descarga a cuerpos acuáticos superficiales	Descarga a sistemas de recolección municipales	Descarga a la Laguna de Venecia y cuerpos acuáticos superficiales de su zona de desagüe (extracto)
pH		5,5-9,5	5,5-9,5	6,0 – 9,0
Temperatura	°C	(1)	(1)	
Color		Imperceptible tras dilución a 1:20	Imperceptible tras dilución a 1:40	Imperceptible tras dilución a 1:10
Olor		No debe causar molestias	No debe causar molestias	No debe causar molestias

Parámetro	Unidad	Descarga a cuerpos acuáticos superficiales	Descarga a sistemas de recolección municipales	Descarga a la Laguna de Venecia y cuerpos acuáticos superficiales de su zona de desagüe (extracto)
<b>Material grueso</b>		ausente	ausente	ausente
<b>TSS</b>	mg/l	80	200	35
<b>DBO<sub>5</sub> (como O<sub>2</sub>)</b>	mg/l	40	250	25
<b>DQO (como O<sub>2</sub>)</b>	mg/l	160	500	120
<b>Aluminio</b>	mg/l	1	2,0	
<b>Arsénico</b>	mg/l	0,5	0,5	
<b>Bario</b>	mg/l	20	-	
<b>Boro</b>	mg/l	2	4	
<b>Cadmio</b>	mg/l	0,02	0,02	
<b>Cromo total</b>	mg/l	2	4	
<b>Cromo(VI)</b>	mg/l	0,2	0,20	
<b>Hierro</b>	mg/l	2	4	
<b>Manganeso</b>	mg/l	2	4	
<b>Mercurio</b>	mg/l	0,005	0,005	
<b>Níquel</b>	mg/l	2	4	
<b>Plomo</b>	mg/l	0,2	0,3	
<b>Cobre</b>	mg/l	0,1	0,4	
<b>Selenio</b>	mg/l	0,03	0,03	
<b>Estaño</b>	mg/l	10		
<b>Zinc</b>	mg/l	0,5	1,0	
<b>Cianuro total (como CN)</b>	mg/l	0,5	1,0	
<b>Cloro activo libre</b>	mg/l	0,2	0,3	
<b>Sulfuros (como S)</b>	mg/l	1	2	
<b>Sulfitos (como SO<sub>2</sub>)</b>	mg/l	1	2	
<b>Sulfatos (como SO<sub>3</sub>) (2)</b>	mg/l	1000	1000	
<b>Cloruros (2)</b>	mg/l	1200	1200	
<b>Fluoruros</b>	mg/l	6	12	
<b>Fósforo total (como P) (3)</b>	mg/l	10	10	
<b>Amonio (como NH<sub>4</sub>) (3)</b>	mg/l	15	30	
<b>Nitrito (como N) (3)</b>	mg/l	0,6	0,6	
<b>Nitrato (como N) (3)</b>	mg/l	20	30	
<b>Grasas y aceites vegetales / animales</b>	mg/l	20	40	
<b>Total hidrocarburos</b>	mg/l	5	10	
<b>Fenoles</b>	mg/l	0,5	1	
<b>Aldehídos</b>	mg/l	1	2	
<b>Disolventes orgánicos aromáticos</b>	mg/l	0,2	0,4	
<b>Disolventes orgánicos nitrogenados</b>	mg/l	0,1	0,2	
<b>Surfactantes totales</b>	mg/l	2	4	
<b>Pesticidas (fosforados)</b>	mg/l	0,10	0.10	
<b>Total pesticidas (fosforados exclusive), y también:</b>	mg/l	0,05	0.05	
- Aldrina	mg/l	0,01	0,01	
- Dieldrina	mg/l	0,01	0,01	
- Endrina	mg/l	0,002	0,002	

Parámetro	Unidad	Descarga a cuerpos acuáticos superficiales	Descarga a sistemas de recolección municipales	Descarga a la Laguna de Venecia y cuerpos acuáticos superficiales de su zona de desagüe (extracto)
- Isodrina	mg/l	0,002	0,002	
Disolventes orgánicos clorados	mg/l	1	2	
Escherichia coli (4)	cfu/100 ml	Ver nota al pie		
Ensayo de toxicidad aguda (5)		Muestra considerada inaceptable si en 24 horas la fracción de organismos inmobilizados es 50 %	Muestra considerada inaceptable si en 24 horas la fracción de organismos inmobilizados es 80 %	

Notas a la tabla:

- (1) Según las aguas receptoras, son aplicables las siguientes prescripciones:
- Aguas fluviales. La máxima diferencia de temperatura antes y después del punto de descarga debe ser de 3°C.
  - Lagos: La temperatura máxima del agua residual debe ser 30 °C, y a más de 50 metros del punto de descarga el aumento de temperatura en el cuerpo acuático debe ser de 3°C.
- (2) Estos límites no son aplicables a aguas residuales descargadas en el mar (se facilita una asimilación para aguas marinas costeras).
- (3) Las aguas residuales industriales descargadas en zonas sensibles deberán respetar los límites de fósforo total y de nitrógeno total de 1 mg/l y 10 mg/l, respectivamente.
- (4) Se recomienda el límite general de 5000 cfu/100 ml. La autoridad competente establecerá el límite más apropiado según la situación ambiental, higiénica y sanitaria del cuerpo acuático y los usos existentes.
- (5) El ensayo de toxicidad es obligatorio. Además del ensayo de Daphnia magna, pueden realizarse ensayos de toxicidad aguda en Ceriodaphnia dubia, Selenastrum capricornutum, bacterias bioluminiscentes u otros organismos como Artemia salina para efluentes de aguas residuales que contengan sales, u otros organismos que se indicarán. Un resultado positivo del ensayo no supone una penalización directa, sino que se requieren las siguientes acciones: una investigación analítica en profundidad, la localización de las fuentes de toxicidad y su eliminación.

**10. LUXEMBURGO**

No se ha facilitado información.

**11. HOLANDA**

Holanda tiene dos leyes marco medioambientales principales, que son la "**Ley de Gestión Medioambiental**" y la "**Ley de Contaminación de Aguas Superficiales**". Estas leyes, juntas, proporcionan el marco para la concesión de permisos medioambientales y permiten el ajuste de condiciones particulares en el permiso. Las leyes cumplen con las exigencias de la Directiva de IPPC y la concesión de permisos integrada es garantizada por un procedimiento de concesión de permisos coordinado por las autoridades competentes. Ambas leyes marco gobiernan una serie de Decretos y Reglamentos que establecen requisitos por lo que respecta a actividades potencialmente contaminantes.

La **Reglamentación sobre emisiones en Holanda (NeR)** es aplicable a emisiones de proceso a la atmósfera, y proporcionan pautas para las condiciones en permisos ambientales para emisiones a la atmósfera. La reglamentación NeR se ha venido utilizando como referencia en la concesión de licencias desde el 1 de mayo de 1992.

En la NeR se indican los estándares de concentración para distintas sustancias, que constituyen límites superiores para fuentes puntuales primarias, según el flujo de masa. Además, en "reglamentos especiales" se incluyen reglas que se apartan de los "estándares de emisión generales" para ciertas industrias o instalaciones específicas.

Los estándares de emisión de la NeR no son legalmente obligatorios, y la NeR no sustituye los acuerdos obligatorios existentes. Sin embargo, si las autoridades que conceden un permiso desean apartarse de la NeR, los motivos para ello deben ser detallados explícitamente en el preámbulo a la licencia.

### **Acuerdos voluntarios**

Los acuerdos o convenios voluntarios (en holandés: "Convenanten") son declaraciones de intención sobre la aplicación de política ambiental para ciertos sectores industriales. Las declaraciones de intención son acuerdos entre las autoridades y la industria. La participación en un convenio ofrece la ventaja tanto para las autoridades competentes como para las empresas de una vía más transparente, coherente y previsible de mejora e inversiones ambientales. Los convenios se aplican actualmente en dos campos:

- Comportamiento ambiental general en cuanto a contaminantes "tradicionales".
- Eficiencia energética

### **Comportamiento ambiental general en cuanto a contaminantes "tradicionales"**

En la declaración de intención de este acuerdo voluntario, las autoridades han preparado un **Plan Integral de Objetivos Medioambientales (IETP)**, basado en el **Plan de Política Medioambiental Nacional (NEPP)**, el **Memorando sobre Gestión del Agua**, el **Plan de Acción del Mar del Norte**, el **Programa de Acción del Rin**, el **Memorando sobre la Conservación de Energía** y otros planes oficiales en el momento de la firma.

El Plan Integral de Objetivos Medioambientales se ocupa de la contaminación del medio ambiente por los contaminantes "tradicionales" (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, COV, metales pesados, HAP, etc.) causada por el sector industrial relevante. El IETP ha sido preparado para los años 1994/1995, 2000 y 2010. Aparte de la reducción de emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo, el IETP también incorpora políticas en cuanto a conservación de energía, conservación del agua, limpieza del suelo, posibles riesgos, olores molestos, ruido y sistemas de gestión interna. Sin embargo, especialmente para conservación de energía y reducción de CO<sub>2</sub>, se han suscrito dos otros convenios.

Para la "industria química", se firmó una declaración de intenciones el 2 de abril de 1993. Un factor significativo es la aceptación de que, en vista de la amplia variedad de compañías dispares en la industria química, la contribución de cada empresa individual a la aplicación del IETP en la industria puede variar. La responsabilidad de las compañías individuales para contribuir a la aplicación del IETP en la industria requiere que estas empresas adopten una postura activa. La contribución de una empresa será definida en los Planes Medioambientales de la Empresa (BMP), que son preparados por cada empresa. Estos BMP son renovados cada cuatro años y deben ser acordados con las autoridades que conceden los permisos.

### **Eficiencia energética: Acuerdos a largo plazo sobre eficiencia energética**

En Holanda se han suscrito "**Acuerdos a Largo Plazo sobre Eficiencia Energética (MJA)**" entre el Ministerio de Asuntos Económicos y organizaciones representativas de muchos sectores industriales. El aspecto más importante de los MJA es su valor objetivo para la mejora de la eficiencia energética en el sector industrial relevante dentro de un cierto marco de tiempo. Para la elaboración de los MJA, se realizan acuerdos bilaterales entre las empresas individuales y la agencia de facilitación, que es NOVEM. Para la industria química, se suscribió un MJA fue el 24 de noviembre de 1993 y la mejora acordada de la eficiencia energética era del 20 % para el periodo 1989-2000. El objetivo ha sido conseguido por el sector y en la actualidad se está preparando una segunda ronda de MJA, aunque la mayor parte de las compañías de LVOC se unan probablemente al convenio de "valores de referencia".

### **Eficacia energética: Convenio de valores de referencia**

El convenio de Valores de Referencia es un acuerdo ente las autoridades holandesas y la industria holandesa con un uso intensivo de energía. En contraste con los MJA arriba mencionados, no se establece un objetivo cuantificado fijo para la mejora de la eficiencia energética. Por el contrario, la industria acuerda situarse en la vanguardia mundial en eficiencia energética, y las autoridades se abstendrán entonces de aplicar medidas adicionales de tasas energéticas. El motivo para este enfoque distinto es que, en vista de la competencia internacional, la industria ha pedido al gobierno que tenga en cuenta el esfuerzo relativo de eficiencia energética de la industria holandesa en relación con la competencia internacional. El acuerdo está abierto a todas las empresas con un consumo de energía de 0,5 PJ por año o más. El acuerdo de principio fue suscrito el 6 de julio de 1999 entre las organizaciones industriales y las autoridades. Ahora que el acuerdo de principio ha sido firmado, el acuerdo está abierto a empresas individuales que deseen incorporarse al convenio.

Niveles de emisión asociados con las MTD para emisiones de proceso

Categorías**	Nivel de emisión asociado con MTD (mg/Nm <sup>3</sup> )	Umbral (kg/h)	Observaciones
Sustancias extremadamente peligrosas			
Dioxinas y furanos	0-0,1 ng/Nm <sup>3</sup> I-TEQ	Sin umbral	Minimización obligada
PCB	0-0,1 ng/Nm <sup>3</sup> pcb-TEQ	Sin umbral	Minimización obligada
Partículas			
Partículas	5-25	Sin umbral	Según la técnica aplicada y las condiciones del proceso
Sustancias cancerígenas*			
∑ C1	0-0,1	0,0005	Minimización requerida
∑ C1 + C2	0-1,0	0,005	Minimización requerida
∑ C1 + C2 + C3	0-5,0	0,025	Minimización requerida
Sust. orgánicas (gas y vapor)*			
∑ gO1	20	0,1	
∑ gO1 + gO2	100	2,0	
∑ gO1 + gO2 + gO3	100-150	3,0	
Sust. orgánicas (sólidas)*			
∑ sO1	5-10	Sin umbral	Ver partículas
∑ sO2 y sO3	5-25	Sin umbral	Ver partículas
Sust. inorgánicas (gas y vapor)			
gI1	1,0	0,01	
gI2	5,0	0,05	
gI3	30	0,3	
gI4	200	5	
Sustancias inorgánicas (sólidas)*			
∑ sI1	0,2	0,001	
∑ sI1 + sI2	1,0	0,005	
∑ sI1 + sI2 + sI3	5,0	0,025	

\* Para la categoría de sustancias marcadas con un asterisco, se aplica la regla de la suma. Esto significa que el nivel de emisión dado se aplica a la suma de las sustancias en la categoría correspondiente más las de la categoría inferior.

\*\* Las distintas sustancias se clasifican a continuación.

Clasificación de sustancias cancerígenas

Categoría	Sustancia
C1	benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(j)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, dibenzo(a,h)antraceno, 2-naftilamina, 2-nitropropano, berilio (y compuestos) como Be, cromo (VI) (y compuestos) como Cr.
C2	3,3-diclorobencidina, dietilsulfato, dimetilsulfato, óxido de etileno, níquel (y compuestos) como Ni.
C3	acrilonitrilo, benceno, buta-1,3-dieno, 1,2-dibromometano, 1,2-dicloroetano, epiclorohidrina, hidracina, óxido de propileno, cloruro de vinilo.

Sustancias orgánicas

Las sustancias orgánicas han sido clasificadas de acuerdo con su ecotoxicidad. Se hace distinción entre gases / vapores y sólidos (gO y sO). El estándar se aplica a la emisión de la suma de las sustancias (la denominada "regla de la suma"). Nótese que la clasificación arriba indicada no es completa (la lista total incluye varios cientos de componentes), sino que aquí se han incluido algunas sustancias relevantes.

### Clasificación de sustancias inorgánicas

Categoría	Sustancia
O1	muchos compuestos (ej. acetaldehído, acroleína, ácido acrílico, amino benceno/etano/metano, anilina, antraceno, bisfenol A, caprolactama, 1,2-diclorobenceno, diclorofenoles, formaldehído, metilamina, aromáticos monocíclicos nitrogenados, organoestánicos, fenol, piridina, tetraclorometano, triclorometano).
O2	muchos compuestos (ej. 1,3/4-diclorobenceno, cumeno, etilbenceno, monoclorobenceno, estireno, tetracloroetano, tolueno, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetano, xilenos)
O3	muchos compuestos (ej. diclorometano, muchos alcoholes, alcanos y cetonas)

### Sustancias inorgánicas

Se distingue entre compuestos inorgánicos gaseosos y sólidos (gI y sI respectivamente). El motivo para ello es que las técnicas que pueden aplicarse para reducir las emisiones de los compuestos gaseosos y sólidos son distintas. Las sustancias han sido clasificadas conforme a su ecotoxicidad. El estándar para compuestos inorgánicos sólidos se aplica a la emisión de la suma de las sustancias (la denominada “regla de la suma”).

### Clasificación de sustancias inorgánicas

Categoría	Sustancia
gl1	arsina, clorociano, dióxido de cloro, diborano (B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ), fosfina, fosgeno.
gl2	<b>bromo (y sus compuestos) como HBr, tricloruro / trifluoruro de boro, cloro, ácido cianico, flúor (y sus compuestos) como HF, ácido fosfórico, hidruro de germanio, tetrafluoruro / tetrahidruro de silicio, trifluoruro de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, ácido sulfúrico.</b>
gl3	compuestos de cloro como HCl, dicloro-hidruro de silicio, ácido nítrico, tetracloruro de silicio, tricloro-hidruro de silicio, hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )
gl4	amoníaco, óxidos de nitrógeno (como NO <sub>2</sub> ), óxidos de azufre (como SO <sub>2</sub> )
sl1	fibras de amianto*, arsénico (y sus compuestos) como As*, cadmio (y sus compuestos) como Cd*, pentacarbonilo de hierro, mercurio (y sus compuestos) como Hg, compuestos de platino como Pt, compuestos de rodio como Rh, sílice (cristobalita, tridimita)*, plata (y sus compuestos) como Ag, talio (y sus compuestos) como Tl, compuestos de vanadio (especialmente óxidos, haluros, sulfatos y vanadatos) como V.
sl2	cloruro de cromilo, cobalto (humo y compuestos) como Co, humo de cobre como Cu, plomo (y compuestos inorgánicos de plomo) como Pb, sílice (ex. cristobalita y tridimita) como polvo respirable, rodio (y compuestos no solubles en agua) como Rh, selenio ((y sus compuestos) como Se, telurio (y sus compuestos) como Te.
sl3	antimonio (y sus compuestos) como Sb, bario (y sus compuestos) como Ba, óxido cálcico, cromo (y sus compuestos, ex. Cr(VI)) como Cr, cobre (y sus compuestos ex. humo) como Cu, cianuros como CN, fluoruros como F, manganeso (humo y compuestos) como Mn, paladio (y sus compuestos) como Pd, platino (y compuestos no solubles en agua) como Pt, hidróxido potásico / sódico, estaño (y compuestos inorgánicos de estaño) como Sn, vanadio (y aleaciones y carburo) como V, cloruro de zinc (humo).

\* Los compuestos marcados con un asterisco se consideran cancerígenos con un valor umbral. Debe prestarse especial atención a estos compuestos.

### 12. PORTUGAL

No se ha facilitado información.

### 13. ESPAÑA

No se ha facilitado información.

### **14. SUECIA**

1. La situación legal sueca está detallada en el Código Medioambiental. Cada instalación es evaluada por separado, y los requisitos respecto al tratamiento de aguas y gases se establecen individualmente considerando la situación del medio receptor, etc. En el Código, esto se formula como una serie de principios:

- El principio de carga probatoria: Las empresas deben demostrar que sus operaciones se realizan de un modo medioambientalmente aceptable. La carga probatoria corresponde siempre a la empresa.
- El requisito de conocimiento: Las personas que realizan una actividad deben poseer el conocimiento necesario en función de la naturaleza y el ámbito de la actividad. El objetivo de la disposición es asegurar que las empresas adquieran la experiencia necesaria antes de iniciar las operaciones, evitando así daños y perjuicios.
- El principio de precaución: El mero riesgo de daño o perjuicio implica una obligación de adoptar las medidas necesarias para combatir o prevenir los efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente.
- Uso de la mejor tecnología posible: Se aplica a la tecnología usada para la operación en sí misma y para la construcción, operación y desmantelamiento de la planta. Una condición esencial consiste en que debe ser factible en términos industriales y económicos en el sector en cuestión.
- El principio de que quien contamina paga: La empresa debe pagar las medidas preventivas o correctivas que se requieran.
- Los principios de gestión de recursos y ciclo ecológico: Las operaciones deben realizarse de modo que se asegure el uso eficiente de materias primas y energía y la minimización de consumos y residuos.
- El principio de razonabilidad: Todas las reglas deben ser aplicadas considerando los beneficios y costes. Es la empresa la que, de acuerdo con el principio de carga probatoria, debe demostrar que el coste de una medida protectora no está justificado desde un punto de vista medioambiental o que representa una carga irrazonable.

Por ello, en el proceso de obtención de permisos, la empresa tendrá que demostrar qué técnicas de tratamiento son válidas, y sugerir si se requieren una o varias de ellas para tratar las aguas y gases residuales (etc.) en la forma requerida. Las tecnologías elegidas y las condiciones establecidas dependerán de las MTD en la medida en que se hallen disponibles para la industria química, tecnologías probadas en producciones similares en otros lugares, etc. Es posible una variedad de soluciones y condiciones según el lugar, la tecnología de proceso, etc.

2. De ello se deduce más o menos que hay ninguna pauta general para el establecimiento de valores límite. El oficial técnico de la autoridad medioambiental debe tener un buen conocimiento de las tecnologías usadas y disponibles, o acceso a tal conocimiento, así como del impacto en el medio ambiente y qué puede hacerse para contrarrestar tal impacto. Estos oficiales entregan informes al tribunal acerca de lo que es una influencia aceptable en el medio ambiente y como debería controlarse esta influencia.

El permiso en sí es concedido por un Tribunal Medioambiental en caso de industrias de proceso principales. El fallo está basado en la información y consejo dado por las autoridades nacionales, regionales y locales, así como por la misma empresa.

### **15. REINO UNIDO**

No se ha facilitado información.

# Glosario de términos y abreviaturas

## Símbolos químicos

Al	Aluminio
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de aluminio
As	Arsénico
Cd	Cadmio
Br <sup>-</sup>	Ión bromuro
Br <sub>2</sub>	Bromo
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido cálcico, cal
Cl <sup>-</sup>	Ión cloruro
Cl <sub>2</sub>	Cloro
OCl <sup>-</sup>	Ión hipoclorito
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ión clorato
CN <sup>-</sup>	Ión cianuro
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COS	Oxisulfuro de carbono
Cr	Cromo
Cr <sup>3+</sup>	Ión cromo (III)
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ión cromato
CS <sub>2</sub>	Disulfuro de carbono
Cu	Cobre
F <sup>-</sup>	Ión fluoruro
Fe	Hierro
HBr	Bromuro de hidrógeno
HCl	Cloruro de hidrógeno
	Acido clorhídrico
HCN	Cianuro de hidrógeno
HF	Fluoruro de hidrógeno
Hg	Mercurio
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrógeno
H <sub>2</sub> S	Sulfuro de hidrógeno
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acido sulfúrico
HNO <sub>3</sub>	Acido nítrico
N <sub>2</sub>	Nitrógeno gas
NaOH	Hidróxido sódico
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato sódico, sosa comercial
NaHCO <sub>3</sub>	Carbonato ácido de sodio, bicarbonato sódico
NaOCl	Hipoclorito sódico
NaClO <sub>3</sub>	Clorato sódico
NaHSO <sub>3</sub>	Sulfito ácido de sodio, bisulfito sódico
NH <sub>2</sub> CN	Cianamida
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	Urea
NH <sub>3</sub>	Amoniac
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ión amonio
Ni	Níquel
N <sub>2</sub> O	Oxido nitroso
NO	Oxido de nitrógeno
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ión nitrito
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ión nitrato
NO <sub>x</sub>	Oxidos de nitrógeno (mezcla de NO y NO <sub>2</sub> )
O <sub>2</sub>	Oxígeno
O <sub>3</sub>	Ozono
P	Fósforo

Pb	Plomo
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ión fosfato
PO <sub>4</sub> -P	Fosfato (calculado como P)
Sn	Estaño
S <sup>2-</sup>	Ión sulfuro
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de azufre
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ión sulfito
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ión sulfato
SO <sub>x</sub>	Oxidos de azufre (mezcla de SO <sub>2</sub> y SO <sub>3</sub> )
Zn	Zinc

**Prefijos**

p	pico	10 <sup>-12</sup>
n	nano	10 <sup>-9</sup>
μ	micro	10 <sup>-6</sup>
m	mili	10 <sup>-3</sup>
c	centi	10 <sup>-2</sup>
d	deci	10 <sup>-1</sup>
h	hecto	10 <sup>2</sup>
k	kilo	10 <sup>3</sup>
M	mega	10 <sup>6</sup>
G	giga	10 <sup>9</sup>
T	tera	10 <sup>12</sup>
P	peta	10 <sup>15</sup>

**Unidades y factores de conversión**

billón	1000 millones
°C	grado centígrado o Celsius
cm	centímetro
d	día
g	gramo
h	hora
I-TEQ	equivalentes técnicos internacionales de toxicidad de dioxinas
J	Julio (1 J = 0,239 cal)
kg	kilogramo
kPa	kilopascal (1 kPa = 10 mbar)
kWh	kilowatio-hora (1 kWh = 3.6 MJ)
l	litro (1 l = 0.001 m <sup>3</sup> )
m	metro
mg	miligramo
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
MJ	megajulio (1 MJ = 239 kcal = 0.2778 kWh)
MPa	megapascal (1 MPa = 10 bar)
Nm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> normales (metro cúbico para gases, medidos a 101,3 kPa y 273,15 K)
Pa	pascal (presión; 1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> )
ppm	partes por millón (en peso)
ppmv	partes por millón (en volumen) (ppm x peso molecular/22,41 = mg/Nm <sup>3</sup> ; 1 ppm NO <sub>2</sub> = 2,05 mg/Nm <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> )
s	segundo
S	siemens
tm	tonelada métrica (1 tonelada = 1000 kg)
% v.	porcentaje en volumen
% p.	porcentaje en peso
a	año
Ω	ohmio

**Abreviaturas / Siglas / Acrónimos**

ACP	Proceso de Contacto Anaerobio
ACR	Reactor de Contacto Anaerobio
AMS	Sistema de medición automático (instalado y funcionando continuamente in situ)
AOX	Halógenos Orgánicos Adsorbibles
API	American Petroleum Institute
ATS	Schilling austriaco (divisa)
BAT o MTD	Mejores Técnicas Disponibles, según el Art. 2(11) de la Directiva
BEF	Franco belga (divisa)
DBO <sub>x</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno durante x días (normalmente 5 o 7), indica la cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua residual
BREF	Documento de referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno
CEFIC	Consejo Europeo de la Industria Química
DQO	Demanda Química de Oxígeno, indica la cantidad de materia orgánica en el agua residual
CONCAWE	Asociación de Refinerías Europeas para Salud, Seguridad y Medio Ambiente
CPI	Separador de placas corrugadas
CSTR	Reactor de tanque con agitación continua
CWW	BREF sobre Tratamiento Común / Sistemas de Gestión de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico
DAF	Flotación por Aire Disuelto
DDT	1,1,1-Tricloro-2,2-bis-(p-clorofenil)etano; un pesticida
DEM	Marco Alemán (divisa)
DTA	Evaluación de Toxicidad Directa
EC <sub>50</sub>	Concentración de efluente en el agua de dilución que causa un efecto negativo medible sobre el 50 % de la población del ensayo
EIPPCB	Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación
VLE	Valor Límite de Emisión
EMAS	Esquema de Gestión y Auditoria Ambiental (Regulación del Consejo 761/2001)
EMFA	Análisis de Flujo de Energía y Materia
SGA	Sistema de Gestión Ambiental
EOX	Haluros Orgánicos Extraíbles
EQO	Objetivos de Calidad Ambiental
EQS	Estándares de Calidad Ambiental
PE	Precipitador Electrostático
EUR	Euro (divisa)
FGD	Desulfurización de gas de combustión
FIM	Marco finlandés (divisa)
FRP	Plástico reforzado con fibra de vidrio
GAC	Carbón activado granular
GBP	Libra esterlina (divisa)
GMP	Buenas prácticas de fabricación
HAP	Contaminantes atmosféricos peligrosos
HEAF	Filtro de aire de alta eficacia
HEAP	Filtro de partículas en el aire de alta eficacia
LES	Límite de Explosión Superior
SSMA	Salud, Seguridad y Medio Ambiente
IAF	Flotación inducida por aire
ICC o CCI	Cámara de Comercio Internacional
IMPEL	Red de la Unión Europea para la Aplicación y Cumplimiento de la Legislación Medioambiental
IPPC	Prevención y control integrados de la contaminación
IR	Infrarrojo
ISO	Organización Internacional de Normalización
LC <sub>50</sub>	Concentración de efluente en el agua de dilución que causa una mortalidad de un 50 % de la población del ensayo
LCA	Evaluación del ciclo de vida
LDAR	Detección y reparación de fugas
LEI	Límite de Explosión Inferior

LID	Dilución Ineficaz Mínima; valor numérico dado como valor de dilución recíproca (sin dimensión) del agua residual al que no se observan efectos
LVIC	BREF sobre la Industria Química Inorgánica de Gran Volumen de Producción
LVOC	BREF sobre la Industria Química Orgánica de Gran Volumen de Producción
MEK	Metil Etil Cetona
MF	Microfiltración (proceso con membrana, sección de aguas residuales)
MIBK	Metil Isobutil Cetona
NF	Nanofiltración (proceso con membrana, sección de aguas residuales)
NFL	Florín holandés (divisa)
N-NH <sub>4</sub>	Amonio (calculado como N)
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito (calculado como N)
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato (calculado como N),
OFC	BREF sobre la Industria de Compuestos Orgánicos de Química Fina
ORP	Potencial Redox
OSPAR	Convención de Oslo y París para la protección del medio ambiente marino del Atlántico Nororiental
PAC	Carbón Activado en Polvo
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
PCDD	Dibenzodioxinas Policloradas
PCDF	Dibenzofuranos Policlorados
e.p.	Equivalente de población
PM	Partículas (contaminante atmosférico)
PM <sub>x</sub>	Partículas, x µm de diámetro aerodinámico (contaminante atmosférico)
POP	Contaminante Orgánico Persistente
PPI	Separador de Placas Paralelas
PSA	Adsorción por Oscilación de Presión
PTFE	Politetrafluoroeteno (TEFLON)
PVC	Cloruro de Polivinilo
RO	Osmosis Inversa (proceso con membrana, sección de aguas residuales)
SAC	Intercambiador catiónico de ácido fuerte
SBA	Intercambiador aniónico de base fuerte
SCA	Área de colección específica (PE: relación entre la superficie de los electrodos de colección y el caudal de gas)
RCS	Reducción Catalítica Selectiva (reducción de NO <sub>x</sub> )
SCWO	Oxidación con Agua Supercrítica
SIC	BREF sobre la Industria Química de Compuestos Químicos Inorgánicos Especiales
PYME	Pequeñas y Medias Empresas
RNCS	Reducción No Catalítica Selectiva (reducción de NO <sub>x</sub> )
SPC	Control de Proceso Estadístico
SVI	Índice de Volumen de Lodo: Volumen en ml ocupado por 1 g de lodo activado después de sedimentación en condiciones específicas durante un tiempo específico
T <sub>A</sub>	Toxicidad para algas; determinación de la no toxicidad del agua residual para las algas verdes ( <i>Scenedesmus subspicatus</i> CHODAT), usando diversas diluciones del agua residual; el valor es un número sin dimensiones, que indica un factor de dilución
T <sub>D</sub>	Toxicidad para dafnias; determinación de la no toxicidad aguda del agua residual para dafnias ( <i>Daphnia magna</i> STRAUS) durante 24 horas, usando diversas diluciones del agua residual; el valor es un número sin dimensiones, que indica un factor de dilución
T <sub>F</sub>	Toxicidad para peces; determinación de la no toxicidad aguda del agua residual para peces ( <i>Leuciscus idus</i> L.) durante 48 horas, usando diversas diluciones del agua residual; el valor es un número sin dimensiones, que indica un factor de dilución
T <sub>L</sub>	Toxicidad para bacterias luminiscentes; determinación a corto plazo del efecto inhibidor (efectos tóxicos subletales) del agua residual sobre la emisión de luz de <i>Photobacterium phosphoreum</i> , usando diversas diluciones del agua residual; el valor es un número sin dimensiones, que indica un factor de dilución.
T <sub>M</sub>	Mutagenicidad; determinación del nivel de dilución mínimo al que no se observa genotoxicidad del residuo para el organismo de ensayo <i>Salmonella typhimurium</i> TA 1535/pSK 1002; el valor es un número sin dimensiones, que indica un factor de dilución

TOC	Total Carbono Orgánico
TSS	Total Sólidos en Suspensión (en aguas residuales)
UASB	Reactor o proceso anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente
UF	Ultrafiltración (proceso con membrana, sección de agua residual)
USD	Dólar USA (divisa)
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.
UV	Ultravioleta
VCM	Cloruro de Vinilo Monómero
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
VOX	Haluros Orgánicos Volátiles
VRU	Unidad de Recuperación de Vapor
WAC	Intercambiador catiónico de ácido débil
WBA	Intercambiador aniónico de base débil
WEA	Evaluación Global de Efluentes
WEER	Riesgo Medioambiental Global de Efluentes
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

### Términos usados en este documento

Procesos aerobios	Procesos de tratamiento biológico que ocurren en presencia de oxígeno.
Procesos anaerobios	Procesos de tratamiento biológico que ocurren en ausencia de oxígeno.
Desnitrificación anóxica	Proceso en el que el nitrógeno de nitratos se convierte biológicamente en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno.
Eliminación biológica de nutrientes	Eliminación de nitrógeno y fósforo en procesos de tratamiento biológico.
Componente	Sustancia que forma parte de una mezcla (ej. en agua o gas residual, en el aire)
Contenido	Materia contenida en un medio
Efectos sobre otros medios	Posible transferencia de la presión medioambiental de un compartimento ambiental a otro.
Desnitrificación	Proceso biológico mediante el cual los nitratos son convertidos a nitrógeno y otros productos finales gaseosos.
Emisiones difusas	Emisiones que no se liberan a través de puntos de emisión específicos (chimeneas, etc.) [cww/tm/154].
Factor de dilución	Usado en la determinación de toxicidad en aguas residuales; se define como relación de la cantidad total de la muestra tras la dilución con respecto a la cantidad de agua residual contenida en la muestra cuando no detecta efecto sobre los organismos ensayados; factores de dilución elevados equivalen a elevada toxicidad en el agua residual.
Efluente	Corriente residual (agua o gas residual) descargado de un proceso, una instalación o complejo
Emisiones	Liberación directa o indirecta de sustancias, vibraciones, calor o ruido de fuentes individuales o difusas a la atmósfera, el agua o el suelo, según se definen en el Art. 2(5) de la Directiva.
Aire de escape	Corriente de aire (gas residual) de una instalación contaminada con componentes gaseosos, normalmente con bajas concentraciones.
Instalación existente	Instalación en funcionamiento existente antes de la fecha de entrada en vigor de esta Directiva, según el Art. 2(4) de la Directiva.
Gas de combustión	Gas residual generado por proceso de incineración.
Emisiones fugitivas	Cualquier emisión no incluida en los gases residuales de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera, suelo y agua, así como de disolventes contenidos en cualquier producto. Incluyen emisiones no capturadas emitidas al entorno exterior a través de ventanas, puertas, ventilaciones y aberturas [cww/tm/88].
Compuesto orgánico halogenado	Compuesto orgánico que contiene al menos un átomo de bromo, cloro, flúor o yodo por molécula.
Instalación	Unidad técnica estacionaria en la que se realizan una o más actividades de las listadas en el Anexo I de la Directiva, y cualesquiera otras actividades directamente asociadas que puedan tener conexión técnica con las actividades realizadas en ese complejo y que puedan tener efecto sobre las emisiones y la contaminación (Art. 2(3) de la Directiva)

Agua de aporte	Agua agregada a un proceso para iniciar o mantener una reacción, preparar una solución, mezclar o diluir reactivos.
Licor madre	Corriente de agua residual derivada directamente de una síntesis o reacción química, generalmente con alta concentración de productos, materias de partida o subproductos, especialmente las descargas acuosas iniciales.
Nitrificación	Proceso biológico mediante el cual el amoníaco es convertido primero a nitrito y luego a nitrato.
Operaciones de arranque y parada	Operaciones mientras se inicia o se detiene una actividad, un equipo o un tanque. Las fases de actividad con oscilaciones regulares no se consideran como arranques o paradas [cww/tm/88].
Sustancia	Elemento químico y sus compuestos, según se definen en el Art. 2(1) de la Directiva.
Cambio sustancial	Cambio en la operación que, en opinión de la autoridad competente, pueda tener efectos negativos significativos en las personas o el entorno, según se define en el Art. 2(1) de la Directiva.
Compuesto orgánico volátil	Cualquier compuesto orgánico que a 293,15 °K tenga una presión de valor de 0,01 kPa o más, con la correspondiente volatilidad en las condiciones particulares de uso [cww/tm/88].
Gas residual	Descarga gaseosa final que contiene compuestos orgánicos volátiles (COV) u otros contaminantes, desde una chimenea o equipo de eliminación a la atmósfera [cww/tm/88].
Agua residual	Efluente acuoso de procesos químicos, elaboración de productos, preparación de materias primas, limpieza de equipos, actividades de carga. No se incluyen el agua de lluvia y el agua de refrigeración indirecta, debido a las distintas definiciones de agua residual en los Estados Miembros. El agua de lluvia y su posible tratamiento se tratan por separado. El agua de refrigeración se trata en el BREF horizontal correspondiente sobre Sistemas de Refrigeración Industrial.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y MARINO

I.S.B.N.: 978-84-491-0990-4



9 788449 109904