

CONTROL DE EMISIONES Y OLORES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA *

Guillem Massagué Roch

Ingeniero Industrial

Jefe del Servicio de Vigilancia y Control del Aire
Departamento de Medio Ambiente - Generalitat de Catalunya

La industria dedicada al sector alimentario puede clasificarse básicamente en los siguientes subsectores:

- Fabricación de pan y sucedáneos.
- Tostado y torrefacción de café.
- Manipulación de grano.
- Fermentación.
- Elaboración y tratamiento del pescado y de la carne.
- Tratamiento de la carne.
- Elaboración de la alimentación ahumada.

Fabricación de pan y sucedáneos

En el transcurso de los últimos años, la fabricación de pan ha sufrido una transformación en su proceso que ha producido la emisión de etanol generado en el horno de cocción en las operaciones de fermentación de la levadura del pan. La cantidad de etanol formado depende del tipo de pasta empleada. Así, en aquellos procesos donde se utilizan grandes cantidades de levadura que tienen un tiempo de fermentación grande, se producirán altas concentraciones de etanol.

En los hornos de pan que utilizan gas natural, los vapores de etanol se mezclan con los productos de la combustión y son emitidos por la misma fuente de evacuación de gases.

Contaminantes atmosféricos

El etanol emitido en este proceso representa el 99% del total de compuestos orgánicos volátiles (VOC) emitidos. El etanol se genera como resultado del proceso de fermentación del azúcar y el almidón que forman etanol, dióxido de carbono y agua. La fermentación se inicia después de la mezcla de ingredientes y sigue hasta que no haya levadura en el horno. No existen niveles de emisión establecidos para este contaminante.

Medidas de control

La incineración de los VOC formados parece la forma más racional de eliminar estos productos.

Tostado y torrefacción del café

En el tostado y torrefacción del café se reduce el contenido de azúcar y de humedad del grano. Durante la torrefacción también pueden partirse los granos por la mitad, con lo que emiten pequeñas cantidades de pieles. Los tostaderos utilizan habitualmente gas natural en los hornos rotatorios, en cámaras cilíndricas, a una temperatura de unos 200 °C.

Contaminantes atmosféricos

En el proceso de la torrefacción de café pueden generarse partículas en suspensión, pieles, compuestos orgánicos volátiles

(VOC), granos de café y compuestos odoríferos. Las pieles de café son las fuentes principales de partículas y tienen un tamaño superior a las 100 micras de diámetro.

Los compuestos odoríferos son productos orgánicos del tipo alcoholes, aldehídos, ácidos grasos, compuestos nitrogenados y de azufre que se producen probablemente en el proceso de transformación de azúcares y aceites. El olor a café, que puede considerarse agradable para mucha gente, si tiene una exposición continuada puede provocar quejas del vecindario y el aroma se convierte en un olor desagradable.

El Departamento de Medio Ambiente ha elaborado unos niveles de emisión aplicables a este sector que están descritos en el Decreto 22/1998 de 4 de febrero sobre límites de emisión a la atmósfera para instalaciones de tostado y torrefacción de café.

Medidas de control

Los contaminantes emitidos son depurados mediante una instalación de poscombustión o una recirculación de gases y ciclones. La incineración puede adecuarse a la salida de los gases después de la torrefacción.

Manipulación del grano

En este tipo de actividades se almacena grano (trigo, maíz, grano de soja, arroz,

* Conferencia del autor en la Jornada celebrada en el Colegio de Ingenieros Industriales de Cataluña el 3 de junio de 1998.

avena, etc.) que se vehicula hacia unos molinos para la producción de harina, almidón, aceite, comida para animales, etc.

Contaminantes atmosféricos

El contaminante principal en este tipo de proceso son las partículas en suspensión que se producen en diferentes partes del proceso:

- Operaciones de recepción.
- Cintas transportadoras.
- Elevadores.
- Distribuidores.
- Limpiadores.
- Secadores.
- Molinos de martillo.
- Molinos de bolas.
- Mezcladoras.
- Descarga en silos.
- Ensacado.

El 70-80% de las partículas son de diámetro superior a 10 µm. En secadores de arroz, el 90% de las emisiones de partículas son superiores a 10 µm, mientras que menos del 1% son menores de 2,5 µm.

El polvo producido en la manipulación del grano puede provocar efectos negativos en la piel, ojos y sistema respiratorio. También se producen alergias e irritaciones en los ojos de los trabajadores expuestos a altas concentraciones de polvo de grano. Las partículas pequeñas pueden actuar como irritantes y la parte orgánica del polvo de grano puede generar reacciones alérgicas con crisis asmáticas en ciertos tipos de poblaciones sensibles, como fue el caso de descarga de haba de soja en el puerto de Barcelona en los años 80.

En el proceso de producción de aceites vegetales se producen emisiones de olores.

Medidas de control

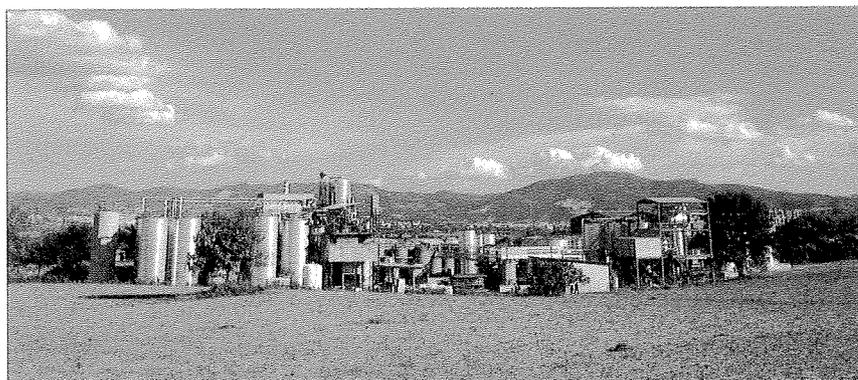
Ciclones y filtros de mangas. Es preciso tener en cuenta que en este tipo de procesos hay emisiones fugitivas generadas como consecuencia de las operaciones de manipulación del grano por lo que se deberán adoptar los sistemas adecuados para corregir este impacto; por ejemplo, sellar las partes susceptibles de emitir polvo por efectos de corrientes de aire y minimizar la emisión de polvo en la manipulación y transferencia del grano.

Fermentación

Es un proceso industrial de obtención de cerveza, bebidas alcohólicas, vino, etc. Otras aplicaciones minoritarias incluyen una amplia gama de actividades, como, por ejemplo, diferentes tipos de comida, industria farmacéutica, etc.

Contaminantes atmosféricos

Las destilerías generan flujos concentrados de compuestos orgánicos volátiles (VOC), y mientras que el etanol es el mayoritario existen otros minoritarios como el al-



Refinería de aceite de Extracción De Smet en Barcelona

cohol isopropílico, acetato de etilo, alcohol isoamílico, etc.

Otras fuentes de emisión son la fermentación y producción de enzimas y las secciones de destilación y deshidratación, así como las operaciones de manipulación y almacenamiento. Los principales contaminantes en estos procesos son los compuestos orgánicos volátiles, y algunos de ellos están muy relacionados con problemas de olores.

Medidas de control

Las emisiones más importantes son los productos de la combustión, según el combustible utilizado. Se emitirán SO₂ y NO_x. Para eliminar el SO₂ es aconsejable emplear gas natural en vez de fuelóleo. La reducción de NO_x es viable en función de la caldera, el quemador y la relación aire/combustible. La mayoría de las emisiones de VOC son fugitivas, y por lo tanto deberán minimizarse teniendo en cuenta el punto del proceso donde se generan.

Industrias del pescado, alimentación y granjas

La producción de comida a partir de carne de buey o de las granjas avícolas es un proceso donde las emisiones atmosféricas más importantes son los olores.

En el proceso de cocinado del pescado se cocina en cámaras a presión a unos 90 °C durante 15 minutos, después se introduce en una prensa, donde se separa la fase líquida, y se seca para reducir la hume-

dad que podría provocar la descomposición del material. Luego se congela y se almacena.

Contaminantes atmosféricos

La principal fuente de emisión es el olor que se produce, sobre todo en el secador. El almacenamiento del pescado también es otra fuente de olor, y asimismo el proceso de cocinado.

La composición de los olores en este proceso es variable, atendiendo a la diversidad de especies de pescado y a su estado. Se detectan altos niveles de H₂S y de NH₃, así como aminas orgánicas (trimetilamina) que tienen un umbral olfativo de 0,00021 ppm. Teniendo en cuenta estos bajos umbrales de olor, cuando se escapan pequeñas cantidades de estos tipos de gases ya son perceptibles para la población, lo que es motivo de quejas del vecindario.

Las emisiones generadas en el secador han detectado la presencia de compuestos sulfurados como el disulfuro de carbono

Componente	425 °C	535 °C	650 °C	760 °C
Partículas	70	90-93	96	97
Ácidos orgánicos	60-80	75-90	90-98	95-100
Aldehídos	60-80	70-90	87-92	95
Orgánicos totales		68	88	77
CO		99	99	99
NOx		5	12	12

Eficacia de los posquemadores en función de la temperatura

(S₂C), H₂S, mercaptanos, NH₃ y trimetilamina. En la cocción se han detectado compuestos sulfurosos y trimetilamina.

Las emisiones de polvo se generan en el proceso de secado y en el transporte hasta el secador. Son partículas de un diámetro inferior a 5 µm, y mediante ciclones se puede llegar a depurar la gran mayoría de las partículas emitidas. También se pueden generar CFCs si se producen escapes de este gas en el proceso de congelación.

Proceso	Emisiones totales
Secador	60-80
Sistemas de precocción	10-20
Manipulación de materia prima	10-20
Sistema de conducción neumático	2-5

El almacenamiento de materias primas antes de iniciar el proceso es una importante fuente de olores que pueden variar entre 1.000 y 100.000 U.O./m³. Estas emisiones en áreas abiertas son prácticamente imposibles de controlar a no ser que se viertan en lugares cerrados.

Las emisiones de olores en el sistema de cocinado varían desde 5.000 hasta 100.000 U.O./m³ en función del estado de descomposición de la materia prima.

Medidas de control

Dado que en los sistemas de cocinado y en los secadores existe una humedad importante, es necesario aplicar métodos para hacer desaparecer el olor provocado. También se pueden generar partículas que se eliminan con ciclones antes de aplicar medidas para acabar con los olores. En este proceso se puede condensar el vapor de agua y enfriar el gas, y así se obtiene cierto grado de reducción del olor ya que compuestos como NH₃, H₂S y N(CH₃)₃ son bastante solubles en agua.

Para controlar los olores de los sistemas de cocinado y de los secadores después de la condensación se utilizan dos procesos: oxidación térmica y scrubber por oxidación química. La oxidación térmica se realiza en una caldera a temperaturas de 650-800 °C, y la eficacia es del orden del 90%. También se utilizan biofiltros que contienen un lecho poroso que pueden absorber compuestos odoríferos.

Tratamiento de la carne

Al sacrificar animales y aves quedan restos como intestinos, huesos, plumas, etc. Las diversas formas de restos de carne se tratan en factorías para producir alimentos para animales y se recuperan las grasas. Estos restos se descomponen por la acción bacteriana. A menudo se vierten restos en el suelo de los mataderos que después se transportan a las fábricas, donde se procesarán para elaborar alimento para los animales. Cuando son cocinados a unos 115 °C, los malos olores son generados por las plumas y la sangre. Otras fuentes de malos olores son los secadores, centrifugas, tanques, etc. El material cocinado también emite partículas en suspensión.

Compuestos odoríferos derivados de las instalaciones de tratamiento de restos de animales

Compuesto	Umbral olfativo (ppm)
Acetaldehído	0,067
Amoniaco	17
Ácido butílico	0,0005
Dimetilo amina	0,34
Dimetilo sulfuro	0,001
Dimetilo disulfuro	0,008
Etilo amina	0,27
Etilo mercaptano	0,0003
H ₂ S	0,0005
Indol	0,0001
Metilo amina	4,7

Metilo mercaptano	0,0005
Escatol	0,001
Trimetilo amina	0,0004

Medidas de control

La reducción del olor puede iniciarse encapsulando los almacenes, tanques, etc. Los scrubbers con adición de agua u oxidantes químicos son los sistemas más utilizados en la lucha contra los olores en este tipo de procesos. También se usan filtros de tierra dada la absorción química, oxidación y biodegradación aerobia de los gases orgánicos. Asimismo deben aplicarse medidas para reducir el nivel de partículas en suspensión.

Elaboración de alimentación ahumada

El proceso de ahumado consta de cuatro fases: secado, operación de ahumado, cocción y congelación.

En el primero se han detectado fenoles, grupos carbonílicos y ácidos presentes tanto en fase sólida como gaseosa del proceso de ahumado. Los fenoles son los principales responsables del aroma; los compuestos que tienen grupos carbonílicos son los responsables del color y el gusto, mientras que los ácidos grasos actúan como esterilizantes y también, en parte, en el gusto.

Ácidos orgánicos presentes en el proceso (porcentaje del total)

Ácido	Carne ahumada	Pescado ahumado
Fórmico	16,1	51,3
Acético	71,9	7
Propiónico	6,2	21,7
Butírico	1,5	3,4
Otros	4,2	16,9

Contaminantes atmosféricos

Se emiten partículas de tamaño muy pequeño con un diámetro de unos 2 µm, que representa el 90% en peso de todas las partículas. También hay hidrocarburos aromáticos policíclicos en forma particulada como fenantreno, benzo(a)antraceno, fluorante, pireno, antraceno, criseno, benzo(a)pireno y benzo(e)pireno.

Medidas de control

Las emisiones son generadas básicamente en el proceso de ahumado donde se

producen partículas en suspensión higroscópicas, que son dificultosas de retener con un scrubber. A altas concentraciones, estas partículas procedentes del ahumado son irritantes y olorosas. Los sistemas de control pueden ser filtros a alta presión, scrubbers, precipitadores electrostáticos y posquemadores. Todos estos sistemas tienen ventajas y desventajas. Todos son efectivos para eliminar partículas en función del tipo de planta.

Determinación de olores

Se extrae una muestra olorosa mediante una bolsa de plástico. La extracción se realiza con una sonda que introduce la muestra dentro de la bolsa. El tren de muestreo aspira el aire de la fuente con una bomba. La bolsa de plástico debe ser de un material inerte e impermeable, y debe tener un volumen suficiente para su posterior análisis olfatométrico (10 a 15 litros).

Después del muestreo es preciso trasladar rápidamente la muestra para su determinación olfatométrica. El tiempo entre la extracción y la determinación no debe superar las 24 horas.

Muestreo de gases odoríferos en emisión

	Sonda
Bomba de aire	Bolsa de plástico

Determinación de la sensación de olores

Una emisión odorífera es una mezcla compleja de muchos compuestos odoríferos. Para determinar el nivel del olor se utilizan métodos sensoriales en lugar de análisis química instrumental. Los métodos sensoriales dependen de la capacidad de respuesta de los individuos seleccionados en un panel.

Son métodos útiles tanto para la determinación de olores en fuentes emisoras como en inmisión. Se basa en el uso del olfato humano como detector y se fundamenta en el hecho experimental de que una concen-

tración equivalente en el umbral olfativo de cualquier sustancia produce un estímulo sensorial de la misma intensidad.

Al analizar una muestra gaseosa, la primera etapa consiste en determinar el umbral olfativo correspondiente. Se entiende por umbral olfativo de una sustancia o mezcla de sustancias la concentración que puede ser diferenciada inequívocamente en relación al aire puro, al menos para la mitad de los componentes del panel. Por definición, al umbral olfativo de cualquier sustancia se le asigna el valor de una unidad olfativa (U.O.) por metro cúbico (1 U.O./m³). Una vez determinado el umbral olfativo se calcula la concentración de olor de la muestra sobre la base de la medida del factor de dilución que hay que aplicar a la muestra para llegar al umbral olfativo correspondiente. Este factor de dilución es equivalente a la concentración de olor de la muestra en U.O./m³.

Un laboratorio de olfatometría consiste en:

- Olfatómetro dinámico.
- Panel de expertos en olores.
- Sistema informático de tratamiento de los datos.
- Patrones de n-butanol y H₂S.

Olfatómetro

Es un sistema de dilución que vehicula distintas diluciones de muestras de olor en un panel en condiciones de reproducibilidad. El olfatómetro, controlado mediante un ordenador y *software* adecuado⁵, mezcla, en diferentes proporciones, aire sintético con la muestra de aire objeto del estudio y la presenta aleatoriamente en el panel mediante una de las dos salidas de que dispone el sistema, mientras que por la otra sale aire puro. El observador debe distinguir, partiendo de la selección forzada, por cuál de las salidas circula el aire contaminado.

Panel de expertos en olores

Se trata de un grupo de observadores (nueve ó más) con capacidad olfativa media. La selección de cada individuo se realiza sobre la base de una prueba de olfato con varios patrones de n-butanol y H₂S donde previamente se han determinado sus correspondientes umbrales olfativos.

La determinación del olor de las muestras consiste en la realización, para cada observador, de por lo menos dos series de diluciones en más de cinco etapas de concentración creciente según un factor determinado comprendido entre 1 y 4 (siendo 2 el más utilizado).

Depuración de partículas

Ciclones

Utilizan la fuerza centrífuga generada por una corriente de gas con movimiento circular para separar las partículas del flujo gaseoso.

Estas entran en un conducto cilíndrico, normalmente el doble alto que ancho, y se produce un vórtice por las características físicas del sistema. La inercia de las partículas resiste el cambio de dirección del gas y éstas adquieren un movimiento radial hacia el exterior, topan con las partes del ciclón y finalmente caen al fondo. La dirección del vórtice cambia en sentido contrario cuando llega al fondo del cono, y el gas limpio sube hacia la salida del ciclón por el eje central.

Se utilizan para separar partículas de un diámetro superior a 10 µm, con una eficacia de un 90% para partículas inferiores a 25 µm. Existen ciclones de alta eficacia (tamaño de partícula hasta 5 µm), pero la eficacia cae rápidamente a partir de un determinado tamaño de partícula.

Ventajas:

- Sencillos y económicos.
- Compactos. Ocupan poco espacio.
- Mantenimiento mínimo.
- Aptos para temperaturas y condiciones físico-químicas elevadas.
- Necesitan poco control.
- En general no consumen agua.
- Producto seco recuperado.
- No producen efluentes líquidos.
- Recuperan productos sin alteración.
- La pérdida de carga por roce es mínima.

Inconvenientes:

- Baja eficacia para diámetros de partículas pequeñas.
- Consumo alto de energía para alcanzar eficacias apreciables.

- Sufren importantes fenómenos de abrasión con según qué productos dada la alta velocidad de circulación

Filtros de mangas

Al topar un aerosol con un elemento textil se produce un efecto de separación, con retención de las partículas del aerosol si su diámetro medio es mayor que el diámetro de la porosidad de la fibra textil.

El polvo transportado por el aire, por aspiración o presión, entra en la parte inferior del filtro. El aire pasa a través de las mangas filtrantes mientras que las partículas quedan retenidas.

Principales características:

- Alta eficacia.
- La temperatura de uso máxima es aproximadamente de 250 °C (fibra de vidrio y teflón).
- La pérdida de carga es significativa.
- El coste inicial es intermedio según el caudal y las condiciones de trabajo.

Ventajas:

- Alta eficacia.
- Producto seco recuperado. No produce efluentes líquidos.
- Coste inicial intermedio.
- Coste de mantenimiento bajo.

Inconvenientes:

- No apto para altas temperaturas (más de 250 °C).
- El cambio de las mangas es caro para grandes filtros.
- Peligro de explosiones e incendios.

Precipitadores electrostáticos o electrofiltros

El proceso de precipitación electrostática elimina las partículas de una corriente de gases mediante el uso de la fuerza que resulta al tener una partícula cargada en un campo eléctrico.

Se utilizan cuando es necesaria alta eficacia para tamaños de partículas pequeñas. Tienen menor pérdida de carga que otros sistemas de depuración.

Características principales:

- Altas eficacias para tamaños pequeños.

- Coste inicial elevado.
- Costes de mantenimiento y operacionales bajos.
- Pueden trabajar a altas temperaturas.
- Pérdida de carga pequeña.

Ventajas:

- Altas eficacias.
- Producto recuperado seco.
- Baja pérdida de carga.
- Gastos operacionales y de mantenimiento bajos.
- Buena resistencia a la corrosión. Pueden captar nieblas ácidas.
- Pueden operar con temperaturas de trabajo elevadas (hasta 400 °C normalmente y pueden llegar hasta los 650 °C con diseños especiales).

Inconvenientes:

- Alto coste inicial.
- No aptos para condiciones de operaciones variables.
- No aptos para partículas con resistividades altas o bajas.
- No aptos para gases o partículas explosivos.

Lavadores

Para la eliminación de partículas, los separadores por vía húmeda son muchas veces básicos cuando los gases a depurar están situados en concentraciones próximas a la saturación con agua o cuando, por problemas de seguridad, es difícil la depuración por vía seca. Los lavadores tienen el inconveniente de transferir la contaminación en fase gaseosa a fase líquida.

En general tienen buen rendimiento para captar polvo de dimensiones superiores a 3-5 µm. La pulverización utilizada para el lavado genera gotas situadas entre las 100 µm y algunos milímetros. Son muy utilizados en la fabricación de piensos.

Las principales características de los lavadores son:

- Captación simultánea de gases y partículas.
- Eficacia proporcional al consumo energético.
- Transfieren los contaminantes del medio gaseoso al líquido.

Ventajas:

- Captación conjunta de gases y partículas.
- Construcción sencilla. Coste de instalación medio para eficacias medias sin depuración de líquidos.
- Pueden mantener duras condiciones físico-químicas y de temperatura.
- Pueden operar con productos difíciles de tratar por otros medios (pastosos, explosivos, higroscópicos, etc.).

Inconvenientes:

- Costes de operación (energía) muy elevados para altas eficacias.
- Transfieren la contaminación al medio líquido.
- Corrosión y abrasión en según cuales sean las situaciones.

Depuración de gases

Existen cuatro sistemas básicos para controlar los gases producidos en un proceso determinado: adsorción, absorción, condensación e incineración.

Generalidades:

- A bajas concentraciones de gases contaminantes (menor de 100 ppm), la incineración alcanza una eficacia del 90-95% mediante tratamiento térmico.
- A altas concentraciones de gases contaminantes (más de 100 ppm), la incineración tiene una eficacia entre un 95 y un 99%.
- La incineración puede generar otros tipos de contaminantes si la combustión es incompleta y, por lo tanto, quizás serán necesarias medidas adicionales.
- La adsorción de compuestos derivados del carbono tienen una eficacia mayor del 90% para bajas concentraciones y del 95% para altas concentraciones (más de 1.000 ppm).
- La condensación tiene una eficacia del 80% para altas concentraciones de gas contaminante.

Adsorción

Es un proceso en el que los gases, vapores o líquidos se concentran sobre una superficie sólida como resultado de fuerzas superficiales o químicas. Estos sólidos, llamados adsorbentes, separan gases orgánicos. Al ser la adsorción un fenómeno superficial, sólo sirven como adsorbentes aquellos sólidos que tienen una amplia superficie interna.

Otras propiedades son:

- Disponibilidad a coste razonable.
- Fácil regeneración.
- Son químicamente inertes al componente global portador de la corriente gaseosa.
- Elevada capacidad para la sustancia que debe adsorber. Gran selectividad.
- La cantidad de material que puede ser físicamente adsorbido depende de los siguientes factores:
 - Concentración del material alrededor del adsorbente.
 - Superficie total del adsorbente.
 - Volumen total de poros del adsorbente.

Es preciso diseñar el sistema de forma que el tiempo de contacto entre el gas sucio y el adsorbente sea lo mayor posible.

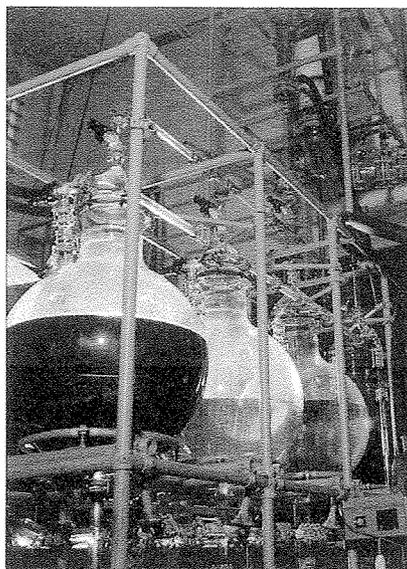
La eliminación de la sustancia adsorbida puede efectuarse con los siguientes sistemas:

- Por desadsorción (recuperando lo adsorbido).
- Rechazando lo adsorbente y lo adsorbido.
- Por conversión química en otro producto recuperable.
- Introduciéndolo en el horno de combustión.

Absorción

La separación de uno o más componentes de un flujo gaseoso mediante la técnica de la absorción es el sistema más utilizado como medida correctora.

En este proceso se pone en contacto una mezcla de gas con un líquido inerte de forma que uno o varios componentes de la mezcla gaseosa se disuelven en el líquido. El éxito de la separación del gas de la corriente gaseosa depende de la solubilidad con el líquido inerte. Un ejemplo típico es la absor-



Cortésia Sluys

La producción de aromas y emulsiones de alta calidad para la industria alimentaria y bebidas es un campo especializado

ción del amoníaco, contenido en una mezcla de aire, con agua en estado líquido. El soluto es recuperado por destilación y el líquido absorbente puede reutilizarse o bien se rechaza.

El proceso se realiza en torres de relleno (scrubbers) y el diámetro depende de las cantidades de gas y líquido tratadas, de sus propiedades, y de la relación entre ambas corrientes. La altura de la torre y, por lo, tanto el volumen total de relleno depende de las variaciones de concentración que se desee alcanzar y de la velocidad de transferencia de materia por unidad de volumen de relleno.

En este tipo de procesos es muy importante la elección del disolvente, generalmente agua, por ser económica y muy útil.

Es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Solubilidad del gas.- Cuanto mayor sea la solubilidad del gas, mayor será la velocidad de absorción y se minimizará la cantidad de disolvente.
- Volatilidad.
- Corrosividad.
- Coste de disolventes que no sean el agua.
- Viscosidad.- Es preferible una viscosidad baja ya que la velocidad de absorción es

más rápida y disminuye la pérdida de carga.

- Estabilidad química.- El disolvente tiene que ser químicamente estable y, si es posible, ignífugo.
- Toxicidad.
- Bajo punto de congelación.- Es preferible un punto de congelación bajo, dado que cualquier tipo de solidificación del disolvente puede provocar consecuencias negativas.

Condensación

Es un proceso en el que el gas condensa en fase líquida. Cualquier gas puede pasar a fase líquida en función de la temperatura y/o presión. En general, se utilizan agua o aire frío para condensar el flujo de gases, ya que este tipo de sistemas no pueden alcanzar temperaturas inferiores a 100 °C. No es posible obtener altas eficacias a no ser que el flujo gaseoso condense a altas temperaturas.

Incineración

Cualquier sistema de incineración se basa en un proceso de combustión que es la medida correctora más utilizada para eliminar los VOC en la industria. A altas temperaturas y tiempo de residencia adecuado, cualquier hidrocarburo se oxida en CO₂ y vapor de agua. Los sistemas de combustión son, en general, procesos sencillos que pueden alcanzar altas eficacias. El sistema se basa en un quemador que combustiona el combustible y los VOC y una cámara que facilita el tiempo de residencia necesario en el proceso de oxidación. Es una técnica utilizada para la eliminación de productos tóxicos y odoríferos. En caso de oxidar compuestos orgánicos que contengan sulfuros o compuestos halogenados se producirán emisiones de SO₂, HCl, HF, fosgeno y otros tipos de compuestos orgánicos como las dioxinas y furanos. En este caso, es preciso eliminar dichos compuestos con sistemas de depuración adicionales antes de la emisión a la atmósfera.

Últimamente el mercado ofrece sistemas de incineración que eliminan los olores y los VOC, como es el caso de un sistema que utiliza NaOCl más un catalizador que provoca la liberación de átomos de oxígeno que aumenta espectacularmente la eficacia en la oxidación de los compuestos orgánicos. ■