

Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la producción de fertilizantes nitrogenados

Introducción

Las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (MASS) son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión¹. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas guías sobre MASS se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre MASS para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **guías generales sobre MASS**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. Para proyectos complejos, puede que sea necesario utilizar diversas guías industriales-sectoriales. La lista completa de guías industriales-sectoriales puede consultarse en:

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Las guías sobre MASS contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas

guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas.

La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia.

En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las guías, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. En caso de que, por las circunstancias particulares del proyecto, sea adecuado aplicar niveles o medidas menos rigurosos que los previstos en estas Guías sobre MASS, la evaluación ambiental específica del emplazamiento deberá contener una justificación completa y detallada de las alternativas propuestas. Esta justificación debería probar que la elección de otros niveles alternativos de desempeño protege la salud humana y el medio ambiente.

Aplicabilidad

Las Guías sobre MASS para la producción de fertilizantes nitrogenados incluyen información relevante para las instalaciones que producen fertilizantes nitrogenados a partir de amoníaco, incluido amoníaco (NH₃), urea, ácido nítrico (HNO₃),

¹ Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que los profesionales idóneos y con experiencia pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos grados de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos niveles de factibilidad financiera y técnica.

nitrato amónico, nitrato de amonio cálcico (CAN), sulfato amónico y fertilizantes nitrogenados compuestos, como fertilizantes líquidos de urea-sulfato amónico (UAS) y de urea nitrato amónico (UAN) (28, 30 o 32 por ciento de nitrógeno (N)).

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria

Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño

Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales

Anexo A — Descripción general de las actividades de la industria

1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas a la industria gráfica que tienen lugar durante la fase operacional, así como recomendaciones para su manejo. Las **Guías generales sobre MASS** ofrecen recomendaciones adicionales para el manejo de las cuestiones de este tipo que son comunes a la mayoría de las grandes actividades industriales durante las etapas de construcción y desmantelamiento.

1.1 Medio ambiente

Entre las posibles cuestiones ambientales asociadas a la producción de los fertilizantes nitrogenados figuran las siguientes:

- Emisiones a la atmósfera
- Aguas residuales
- Materiales peligrosos
- Residuos
- Ruido

Emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera procedentes de las instalaciones en que se producen fertilizantes nitrogenados suelen consistir en gases de efecto invernadero (GEI – generalmente, anhídrido carbónico y óxido nítrico), otros compuestos inorgánicos gaseosos y emisiones de partículas, especialmente materia particulada de menos de 10 micrones de diámetro aerodinámico (MP10) derivada de las actividades de perlado.

En las **guías generales sobre MASS** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de pequeñas emisiones de

fuentes de combustión con una capacidad de hasta 50 megavatios térmicos por hora (MWT), incluidas normas de emisión a la atmósfera de emisiones de escape.

Emisiones del proceso de producción de amoníaco

Las emisiones procedentes de las plantas de producción de amoníaco consisten principalmente en gas natural, hidrógeno (H_2), anhídrido carbónico (CO_2), amoníaco (NH_3) y monóxido de carbono (CO). Dependiendo del combustible utilizado, también puede haber sulfuro de hidrógeno (H_2S). Además, pueden producirse emisiones fugitivas de NH_3 de los tanques de almacenamiento, válvulas, bridas y tuberías, especialmente durante el transporte o traslado. Las emisiones no rutinarias asociadas con las perturbaciones y accidentes durante el proceso pueden contener gas natural, monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), anhídrido carbónico (CO_2), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxido de nitrógeno (NO_x) y NH_3 .

Algunas de las medidas de prevención y control consisten en:

- Utilizar los tratamientos de los gases de purga empleados en la síntesis del NH_3 para recuperar el NH_3 y H_2 antes de quemar el resto en el reactor de reformado primario;
- Aumentar el período de estancia de los gases residuales en la zona de alta temperatura del reactor de reformado primario;
- Las emisiones de amoníaco de las válvulas de escape o de los dispositivos encargados de controlar la presión de depósitos o tanques de almacenamiento deben ser recogidas y enviadas a una antorcha o a un depurador húmedo;
- Instalar métodos de detección de fugas para identificar emisiones fugitivas de amoníaco durante el proceso de producción o el almacenamiento;

- Establecer programas de mantenimiento, especialmente cajas de relleno para vástagos y juntas de válvulas de seguridad, para reducir o eliminar los escapes.

La eliminación del anhídrido carbónico (CO₂) de las instalaciones de producción de amoníaco genera emisiones concentradas de CO₂. Idealmente, las plantas de amoníaco y urea deberían estar integradas, de manera que el CO₂ derivado del proceso de producción del amoníaco pueda consumirse casi por completo si el amoníaco producido se transforma en urea. Además, la producción de fertilizantes nitrogenados es un proceso que hace un uso intensivo de la energía y que suele requerir un empleo significativo de energía derivada de combustibles fósiles, lo que genera un volumen significativo de gases de efecto invernadero. Las **guías generales sobre MASS** contienen recomendaciones sobre el manejo de GEI, además de sobre eficiencia y conservación energéticas.

Emisiones del proceso de producción de urea

Las emisiones procedentes de las plantas de producción de urea consisten principalmente en amoníaco (NH₃) y polvo. También pueden producirse emisiones fugitivas de NH₃ de los tanques, válvulas, bridas y tuberías. Las torres de granulación y los granuladores son una de las principales fuentes de emisión de polvo de urea. El producto final se somete a un perlado o granulado que exige un elevado volumen de aire de refrigeración, el cual es posteriormente descargado en la atmósfera.

Algunas de las medidas de prevención y control recomendadas consisten en:

- Reducir las emisiones de polvo, empleando un proceso de granulado, en lugar de perlado, para obtener el producto;

- Instalar torres de granulación dotadas de sistemas de refrigeración de tiro natural en lugar de torres con refrigeración de tiro forzado/inducido;
- Depurar los gases residuales con el condensado de proceso antes de descargarlos en la atmósfera y volver a procesar la solución de urea recuperada²;
- Utilizar cámaras de filtración para evitar la emisión de aire cargado de polvo procedente de los puntos de transferencia, filtros, máquinas de embolsado, etc., en combinación con un sistema de disolución de polvo de urea que permita reciclar la urea en el proceso;
- Aplicar una fusión rápida a los productos de la urea de excesivo tamaño, permitiendo así el reciclado de la urea en el proceso;
- Recoger los vertidos de urea sólida empleando métodos secos y evitando el lavado de las superficies;
- Conectar a una antorcha las válvulas de seguridad/juntas en las bombas de amoníaco/urea y conductos de ventilación de los tanques.

Emisiones del proceso de producción de ácido nítrico

Las emisiones procedentes de las plantas de producción de ácido nítrico consisten principalmente en óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido de nitrógeno (NO_x) procedentes del gas de cola de la torre de absorción de ácido, óxido nitroso (N₂O), restos de ácido nítrico (HNO₃), la niebla originada durante el llenado de los tanques de almacenamiento de ácido y amoníaco (NH₃).

Algunas de las medidas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones de NO_x consisten en:

² Los lavadores húmedos pueden alcanzar una eficiencia del 98 por ciento de eliminación del polvo (ver IPPC BREF (2006)). La reducida presión parcial de NH₃ presente en el aire de descarga se traduce en una escasa eficiencia en el lavado/recuperación del NH₃. La eficiencia puede aumentar mediante la acidificación y el amoníaco resultante deberá reutilizarse entonces en el proceso.

- Asegurar que el oxidante y el absorbedor disponen de un suministro de aire suficiente;
- Asegurar que se mantiene una presión elevada, especialmente en las columnas de absorción del proceso de producción de ácido nítrico;
- Evitar altas temperaturas en el enfriador-condensador y en el absorbedor;
- Desarrollar un programa de mantenimiento para prevenir el funcionamiento con equipos defectuosos, tales como compresores o bombas, que provocan disminuciones de la presión y fugas, y reducen la eficiencia de las plantas;
- Reducir las emisiones de NO_x, aumentando la eficiencia de la torre de absorción en funcionamiento o incorporando una torre de absorción adicional;³
- Aplicar un proceso de reducción catalítica para tratar los gases de cola procedentes de la torre de absorción;⁴
- Instalar tamizadores moleculares activos para oxidizar catalíticamente el NO en NO₂ y adsorber de forma selectiva NO₂, devolviendo el NO₂ térmicamente descompuesto al absorbedor;⁵
- Instalar depuradores húmedos con una solución acuosa de hidróxidos o carbonatos alcalinos, amoníaco, urea, permanganato potásico, o sustancias químicas cáusticas (p.ej. lavadores cáusticos con hidróxido sódico, carbonato sódico u otras bases fuertes), recuperando el NO y el NO₂ como nitrato o sales de nitrato.⁶

³ La eficiencia puede mejorar si se eleva el número de bandejas del absorbedor, se hace funcionar éste a presión más elevada se refrigera el líquido ácido débil en el absorbedor.

⁴ Los gases de cola pueden calentarse a temperaturas de ignición, mezclarse con combustible (p.ej., gas natural, hidrógeno, nafta, monóxido de carbono o amoníaco) y transferido a un lecho de catalizador (p.ej., pentóxido de vanadio, platino, zeolita) (IPPC BREF (2006)). La reducción catalítica reduce mejor el NO_x que la absorción ampliada.

⁵ Este método puede requerir disposiciones especiales para controlar las incrustaciones del lecho del tamiz.

⁶ A pesar de su eficacia, este control opcional puede entrañar elevados costos y resultar inviable en términos financieros en circunstancias normales. Las

Las recomendaciones para prevenir y controlar las emisiones de N₂O incluyen las siguientes:

- Instalar unidades de reducción catalítica selectiva (RCS) que funcionen a aproximadamente 200°C con varios catalizadores (platino, pentóxido de vanadio, zeolitas, etc.) o, con menos frecuencia, unidades de reducción no catalítica selectiva (RNCS);
- Integrar una cámara de descomposición en el quemador para reducir la producción de N₂O mediante el aumento del tiempo de residencia en el reactor de oxidación⁷;
- Utilizar un catalizador selectivo para descomponer el N₂O en la zona de alta temperatura (entre 800 y 950 °C) del reactor de oxidación;⁸
- Instalar un reactor combinado de depuración de N₂O y NO_x entre el calentador final de gas de cola y la turbina de gas de cola. El reactor se compone de dos capas de catalizador (Fe zeolita) y una inyección intermedia de NH₃.⁹

Una planta operada adecuadamente no debería generar emisiones de niebla ácida en el gas de cola. Las pequeñas cantidades que puedan estar presentes en las corrientes de salida del gas del absorbedor deben eliminarse mediante un separador o colector antes de entrar en la unidad de reducción catalítica o expansor.

Emisiones del proceso de producción de nitrato amónico y de nitrato de amonio cálcico

Las emisiones del proceso de producción consisten principalmente en amoníaco y polvo procedente de los neutralizadores, evaporadores, torres de perlado, granuladores,

evaluaciones de costos deberían incluir el tratamiento de la solución de lavado usada.

⁷ IPPC BREF (2006)

⁸ Ibid.

⁹ Ibid.

secadores y enfriadores. Emisiones fugitivas de amoníaco se originan en los tanques de almacenamiento y equipos de proceso.

Algunas de las medidas recomendadas de prevención y control de las emisiones consisten en:

- Instalar técnicas de separación de gotículas con vapor (p.ej., mallas tejidas de alambre, rellenos de malla para la eliminación de niebla, separadores de placas en onda y separadores de relleno de fibra empleando por ejemplo fibras de politetrafluoretileno (PTFE)) o dispositivos de lavado (p.ej., columnas de relleno, lavadores Venturi y placas perforadas irrigadas) para reducir las emisiones de amoníaco y de nitrato amónico en el vapor originado en neutralizadores y evaporadores¹⁰. Debe emplearse una combinación de separadores y lavadores de gotículas para eliminar las emisiones de partículas de nitrato amónico, y utilizar ácido nítrico para neutralizar todo amoníaco libre;
- Tratar y reutilizar los condensados contaminados empleando técnicas como el decapado con aire o vapor y la adición de álcali para liberar el amoníaco ionizado cuando sea necesario, o emplear procesos de destilación o separación por membrana como la ósmosis inversa¹¹;
- Adoptar la temperatura de fusión más baja posible para reducir las emisiones de amoníaco y nitrato amónico (y carbonato cálcico en la producción de nitrato de amonio cálcico _ NAC) procedentes del perlado y la granulación;
- Eliminar las emisiones de amoníaco provocadas por el perlado y la granulación mediante la neutralización en un depurador húmedo. Los depuradores húmedos suelen utilizar soluciones de circulación de ácidos. Por lo general,

la solución de un depurador húmedo se reincorpora al proceso;

- Eliminar los humos de nitrato amónico procedentes del perlado mediante el lavado;
- Eliminar las pequeñas partículas de nitrato amónico (microgránulos) mediante el uso de corrientes de aire a través de colectores centrifugos, filtros de bolsa y depuradores húmedos;
- Adoptar un proceso cerrado de granulación en lugar de la técnica del perlado cuando sea posible¹²;
- Instalar un sistema de extracción, captura y filtrado del aire de ventilación procedente de las zonas donde se manipulen productos que generen polvo para prevenir las emisiones fugitivas de partículas.

Aguas residuales

Aguas residuales de procesos industriales

Los vertidos de aguas de procesos procedentes de las plantas de producción de fertilizantes nitrogenados se limitan normalmente a los lavados ácidos empleados en las actividades programadas de limpieza y purga, efluentes procedentes de los depuradores húmedos, escapes accidentales, fugas de pequeñas cantidades de líquidos de los tanques de almacenamiento del producto, y efluentes ácidos y cáusticos procedentes de la preparación del agua de suministro de las calderas.

Efluentes de las plantas de amoníaco

Durante las operaciones rutinarias, las descargas de la planta pueden incluir fugas de condensados de proceso o efluentes de

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

¹² La granulación exige un proceso más complicado, pero el volumen de aire a tratar es menor que en el perlado, y el equipo de depuración que se necesita es menos sofisticado. Las partículas de nitrato amónico son más bastas y pueden depurarse con una combinación de colectores centrifugos secos o filtros de bolsa y lavadores húmedos en vez de filtros de bujía más sofisticados.

depuración de gases residuales que contienen amoníaco y otros subproductos. Los condensados de proceso suelen originarse a partir de la condensación entre los reactores de conversión y la absorción de anhídrido carbónico, y del anhídrido carbónico de la cabeza de destilación. Estos condensados pueden contener amoníaco, metanol y aminas (p.ej., metilaminas, dimetilaminas y trimetilaminas). En los procesos de oxidación parcial, la eliminación del hollín y la ceniza puede afectar a los vertidos de agua si no se manipulan adecuadamente.

Algunas de las medidas de prevención y control recomendadas consisten en:

- Los condensados deberían separarse con vapor para reducir el contenido para reducir el contenido en amoníaco y reutilizarse como agua de abastecimiento de la caldera después del tratamiento de intercambio de iones o enviarse a la planta de tratamiento de aguas residuales para su tratamiento con otras corrientes que contengan amoníaco. Las emisiones del separador por vapor pueden requerir controles adicionales de emisiones de amoníaco;
- El amoníaco absorbido de los gases de purga y del vapor instantáneo debe recuperarse en un circuito cerrado para evitar que se produzcan emisiones de amoníaco acuoso;
- El hollín resultante de la gasificación en los procesos de oxidación parcial debe recuperarse y reciclarse para usar en el proceso.

Efluentes de las plantas de urea

Una planta de urea genera un flujo significativo de aguas de procesos que contienen NH_3 , CO_2 y urea (p.ej., una planta de 1.000 toneladas al día (t/d) genera aproximadamente 500 metros cúbicos al día (m^3/d) de aguas de procesos). Otras

fuentes son el vapor del eyector, agua de inundación y agua de obturación.

Algunas de las medidas de prevención y control recomendadas consisten en:

- Mejorar el diseño de los calentadores/separadores de evaporación para minimizar el arrastre de la urea;
- Eliminar el NH_3 , el CO_2 y la urea de las aguas de procesos en una unidad de tratamiento de estas aguas, y reciclar los gases en el proceso de síntesis para optimizar el aprovechamiento de las materias primas y reducir los efluentes;
- Proporcionar la adecuada capacidad de almacenamiento para el inventario de la planta en caso de producirse una perturbación y parada de la planta;
- Instalar tanques sumergidos para recoger las aguas de lavado de la planta y otras corrientes contaminadas procedentes de los drenajes para reciclar dichas aguas en el proceso o transportarlas hasta la unidad de tratamiento de aguas de proceso.

Efluentes de las plantas de ácido nítrico

Entre los efluentes líquidos de una planta de producción de ácido nítrico se encuentran los siguientes:

- Diluir las soluciones de nitrito de amonio /nitrito originadas durante las labores periódicas de lavado (normalmente, una vez al día) del compresor de NO_x y de drenaje del enfriador-condensador durante cierto período de tiempo una vez puesta en marcha la planta;
- La solución de amoníaco acuoso procedente de la purga del evaporador;
- El agua de purga que contenga sales disueltas procedentes del colector de vapor;

- Las emisiones ocasionales provocadas por la purga y toma de muestras de soluciones de ácido nítrico.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar la contaminación incluyen las siguientes:

- Inyectar vapor al compresor de NO_x para evitar cualquier efluente líquido;
- Planificar la acidificación durante la puesta en marcha para evitar tener que recurrir al drenaje del enfriador-condensador;
- Llevar a cabo la separación por vapor para recuperar el amoníaco en el proceso y limitar las emisiones de amoníaco acuoso procedentes de la purga del evaporador.

Efluentes de las plantas de nitrato amónico (NA) y de nitrato de amonio cálcico (NAC)

Las plantas de nitrato amónico (NA) / nitrato de amonio cálcico (NAC) producen un exceso de agua que debe ser tratada antes de su vertido o posiblemente reciclada a otras unidades del complejo de producción de los fertilizantes nitrogenados. Los efluentes de proceso incluyen normalmente condensados que contienen hasta un 1 por ciento de amoníaco y hasta un 1 por ciento de nitrato amónico procedente de los reactores (neutralizadores) y del evaporador, y nitrato amónico y ácido nítrico originados durante el lavado de la planta. Las emisiones no depuradas en el agua pueden alcanzar los 5.000mg NA como N/l y los 2.500mg NH₃ como N/l (6 y 3 kilogramos por tonelada (kg/t) de producto, respectivamente)¹³.

Las medidas de prevención y control de la contaminación para las plantas de NA/NAC incluyen las siguientes:

- La recuperación interna del nitrato amónico y amoníaco (p.ej. aguas de lavado procedentes de la sección de limpieza de aire de la planta de granulación que se reciclan mediante fases posteriores de evaporación en la planta de granulación);
- Integrar las plantas de NA/NAC en la producción de ácido nítrico;
- Tratar el vapor contaminado con amoníaco o nitrato amónico antes de la condensación por medio de técnicas de separación de gotículas y dispositivos de lavado (descritas en el apartado sobre Emisiones a la atmósfera del presente documento);
- Tratar el agua de proceso (condensado) mediante la separación con aire o vapor y la adición de álcali para liberar el amoníaco ionizado necesario; el intercambio iónico; la destilación; o procesos de separación con membranas.

Tratamiento de aguas residuales de procesos

Las técnicas para el tratamiento de las aguas residuales de procesos industriales en este sector incluyen la filtración dirigida a separar los sólidos filtrables; la compensación de flujo y carga; la sedimentación para reducir los sólidos en suspensión mediante el uso de clarificadores; la eliminación del amoníaco y el nitrógeno empleando métodos de tratamiento de nitrificación-desnitrificación física-química o biológica; la separación sólido agua y la eliminación de residuos en vertederos de residuos. Pueden ser necesarios controles de ingeniería adicionales para captar el amoníaco resultante de las operaciones de separación con aire y controlar los olores.

Las **guías generales sobre MASS** explican el manejo de las aguas residuales industriales y ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. Mediante el uso de estas tecnologías y técnicas recomendadas para la gestión de aguas residuales, los

¹³ IPPC BREF (2006)

establecimientos deberían cumplir con los valores para la descarga de aguas residuales que se indican en el cuadro correspondiente de la Sección 2 del presente documento para este sector.

Consumo de agua y otras corrientes de aguas residuales

En las **guías generales sobre MASS** se dan orientaciones sobre el manejo de aguas residuales no contaminadas procedentes de operaciones de servicios públicos, aguas pluviales no contaminadas y aguas de alcantarillado. Las corrientes contaminadas deberían desviarse hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales de procesos industriales. Las recomendaciones para reducir el consumo de agua, especialmente en aquellos sitios en que pueda ser un recurso natural escaso, se analizan en las **guías generales sobre MASS**.

Materiales peligrosos

Las instalaciones de producción de fertilizantes nitrogenados emplean y producen una cantidad significativa de materiales peligrosos, incluyendo materias primas y productos intermedios/finales. La manipulación, almacenamiento y transporte de estos materiales deben gestionarse adecuadamente para evitar o minimizar los impactos ambientales. Las **guías generales sobre MASS** presentan las prácticas recomendadas para el manejo de materiales peligrosos, incluida su manipulación, almacenamiento y transporte.

Residuos

Los residuos peligrosos más comunes producidos por estas instalaciones son los catalizadores usados y sustituidos después de las puestas a punto programadas en las plantas de

desulfuración de gases, amoníaco y de ácido nítrico¹⁴. Los residuos no peligrosos más frecuentes son las partículas de polvo que contienen nitrógeno provenientes de los sistemas de control de polvo de perlado y granuladores.

Las estrategias de manejo para los catalizadores usados incluyen las siguientes:

- Una adecuada gestión del emplazamiento, incluida la inmersión de los catalizadores pirofóricos usados en agua durante su almacenamiento temporal y transporte hasta el punto final de tratamiento, evitando así las reacciones exotérmicas no controladas;
- La devolución de los catalizadores al fabricante para su regeneración o recuperación;
- La gestión fuera del emplazamiento por parte de empresas especializadas para recuperar los metales pesados o preciosos mediante procesos de recuperación o reciclado siempre que sea posible, o bien por parte de agentes capaces de manejar los catalizadores usados y sus materiales no recuperables según las recomendaciones sobre residuos peligrosos y no peligrosos descritas en las **guías generales sobre MASS**.

Las estrategias recomendadas para el manejo del polvo y los productos recuperados que no respondan a las normas incluyen:

- Su reciclado en las unidades de producción específica o unidades de mezcla de fertilizantes en la planta de fabricación;

¹⁴ Una planta de amoníaco con una capacidad de 1.500 toneladas al día puede generar aproximadamente 50 m³/año de catalizadores usados.

- El suministro de estas sustancias a otros usuarios (comerciantes y agricultores) para su posterior aprovechamiento¹⁵.

El almacenamiento y manipulación de los residuos peligrosos y no peligrosos deben ajustarse a las buenas prácticas en materia de MASS para el manejo de residuos, tal y como se describen en las **guías generales sobre MASS**.

Ruido

Las fuentes más comunes de emisión de ruido incluyen grandes máquinas giratorias tales como compresores y turbinas, bombas, motores eléctricos, enfriadores de aire, tambores giratorios, granuladores, cintas transportadoras, grúas, calentadores de aire, y de los procesos de despresurización de emergencia. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones para el control y la minimización del ruido.

1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Las consecuencias de la construcción, funcionamiento y desmantelamiento de las instalaciones de fertilizantes nitrogenados sobre la higiene y seguridad en la comunidad son comunes a la mayoría de los establecimientos industriales, y se explican en las **guías generales sobre MASS**.

Los peligros relacionados con la higiene y la salud laboral en planta deberían identificarse en base a los análisis de seguridad laboral y evaluaciones exhaustivas de peligros y riesgos que empleen metodologías tales como el estudio de identificación de peligros [HAZID], estudio de peligros y operabilidad [HAZOP] o análisis cuantitativo de riesgos [ORA]. En general, la

¹⁵ Las normativas sobre fertilizantes en la Unión Europea (UE) y otros países incluyen requisitos sobre la calidad del nitrato amónico que deben cumplirse en caso de reutilizar este subproducto. La EFMA proporciona guías para los productores, importadores, distribuidores y comerciantes (2003 y 2004).

planificación de la gestión de higiene y seguridad incluirá la adopción de una aproximación sistemática y estructurada para la prevención y el control de los peligros físicos, químicos, biológicos y radiológicos para la higiene y la seguridad descrita en las **guías generales sobre MASS**.

Los riesgos más notables para la higiene y la seguridad en el trabajo se producen durante la fase operativa de las instalaciones de procesamiento de fertilizantes nitrogenados, incluyendo principalmente:

- Seguridad de los procesos
- Riesgos de origen químico
- Riesgos de incendio y explosión.
- Almacenamiento del amoníaco

Seguridad de los procesos

Los programas de seguridad en los procesos deberán implementarse debido a las características específicas del sector, entre ellas las complejas reacciones químicas, el uso de sustancias peligrosas (por ejemplo, compuestos tóxicos, reactivos, inflamables o explosivos) y reacciones de síntesis orgánica de escalones múltiples.

La gestión de la seguridad en los procesos incluye las siguientes acciones:

- Pruebas de riesgos físicos para materiales y reacciones;
- Estudios de análisis de riesgos para revisar las prácticas químicas y de ingeniería del proceso, incluyendo termodinámica y cinética;
- Examen del mantenimiento preventivo y la integridad mecánica de los sistemas y servicios de proceso;
- Capacitación de los trabajadores;

- Elaboración de instrucciones operativas y procedimientos de respuesta a emergencias.

Riesgos de origen químico

Las sustancias químicas tóxicas presentes en las instalaciones de producción fertilizantes nitrogenados incluyen amoníaco, vapor de ácido nítrico, formaldehído gaseoso, y polvo de urea o de NA. Los valores máximos con los efectos específicos sobre la salud pueden consultarse en las guías internacionales sobre exposición (ver más abajo el apartado sobre Seguimiento).

Algunas de las medidas recomendadas de prevención y control de las emisiones consisten en:

- Instalar detectores de gas en las zonas peligrosas, siempre que sea posible;
- Evitar los derrames de ácido nítrico o adoptar precauciones para controlarlos o minimizarlos. El ácido nítrico es muy corrosivo y debe evitarse cualquier contacto dérmico con él;
- Asegurar una ventilación adecuada en todas aquellas zonas en que se manipule amoníaco, ácido nítrico y formaldehído acuoso;
- Garantizar la extracción y filtración del aire en todas las zonas bajo techo donde pueda generarse polvo de urea y AN.

Incendios y explosiones

Las causas más habituales de incendios y explosiones en las instalaciones de producción de fertilizantes nitrogenados incluyen:

- Incendios y explosiones provocados por la fuga accidental de gas sintético en las plantas de producción de amoníaco;

- La formación de mezclas de gases explosivos en los depuradores de gases inertes y el vertido de amoníaco en las instalaciones de urea;
- Las explosiones de mezclas de aire / amoníaco y nitrato / sales de nitrato en las plantas de ácido nítrico;
- Los incendios y explosiones provocados por el nitrato amónico, un agente oxidante en las plantas de NA;
- Incendios provocados por productos o polvo de fertilizantes contaminados con aceite y otras sustancias combustibles en presencia de una fuente de calor.

Las recomendaciones para prevenir y controlar los riesgos de incendio y explosiones incluyen las siguientes:

- Instalar unidades de detección de fugas y otros sistemas (sistemas de detección de alarmas, como por ejemplo sistemas de seguimiento automático del pH en las plantas de ácido nítrico) para detectar con rapidez los escapes;
- Segregar las zonas de proceso, almacenamiento, servicios auxiliares y de seguridad y adoptar distancias de seguridad correspondientes¹⁶.
- Limitar las existencias susceptibles de verterse mediante el aislamiento de las existencias de gran tamaño de las operaciones llevadas a cabo en planta y el aislamiento y purga de las existencias de gases inflamables presurizados;
- Eliminar las posibles fuentes de ignición;
- Implementar procedimientos destinados a evitar y controlar las mezclas peligrosas de gases, por ejemplo reduciendo a menos de 10 partes por millón (ppm) el contenido de hidrógeno del CO₂ suministrado a las plantas de urea,

¹⁶ Las distancias de seguridad pueden obtenerse a partir de análisis de seguridad específicos del emplazamiento (p.ej., API, NFPA). Ver también las guías sobre diseño y gestión operativa en el Handbook for the Safe Storage of Ammonium Nitrate Based Fertilizers (1992) del IFA/EFMA.

- Controlar el coeficiente de amoníaco / aire con válvulas de cierre automático en las plantas de ácido nítrico;
- Evitar la presurización de grandes cantidades de ácido durante la carga / descarga;
- Emplear acero inoxidable de carbono austenítico para fabricar los tanques, depósitos y accesorios diseñados para el ácido nítrico;
- Diseñar el almacenamiento de NA/NAC siguiendo las directrices y requisitos internacionalmente aceptados¹⁷. En general, estos requisitos atañen a las zonas de almacenamiento en términos estructurales y operativos. Debe instalarse un sistema de detección y extinción de incendios;
- Eliminar o diluir los vertidos y limitar la zona afectada por las pérdidas de contención.

Almacenamiento del amoníaco

Las posibilidades de escapes tóxicos durante la manipulación y almacenamiento del amoníaco líquido deben ser minimizadas mediante la adopción de las siguientes medidas:

- Evitar la colocación de los tanques de almacenamiento de amoníaco cerca de las instalaciones en que existe riesgo de incendio o explosión;
- Usar depósitos de almacenamiento refrigerados para los grandes volúmenes de amoníaco líquido, dado que el vertido inicial de amoníaco en caso de producirse fallos en los conductos o los tanques es menor que el registrado en los sistemas de almacenamiento presurizado de amoníaco;
- Implementar y mantener un Plan específico de Manejo de Emergencias que contenga orientaciones sobre las medidas de emergencia para proteger tanto a los

trabajadores como a las comunidades locales en caso de producirse escapes de amoníaco tóxicos.

1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Los riesgos más significativos para la higiene y la seguridad en la comunidad durante el funcionamiento de las plantas de producción de fertilizantes nitrogenados conciernen a:

- La manipulación, almacenamiento y transporte de productos peligrosos (amoníaco, ácido nítrico, nitrato amónico), así como la probabilidad de fugas / escapes accidentales de gases tóxicos e inflamables;
- La eliminación de residuos (productos fuera de especificación, lodos).

El diseño de la planta y sus operaciones incluirán controles de seguridad destinadas a minimizar y controlar los riesgos para la comunidad, incluyendo las siguientes medidas:

- Identificar durante el diseño los supuestos en los que puedan producirse fugas;
- Evaluar los efectos de las posibles fugas en las zonas circundantes, incluida la contaminación de aguas subterráneas y suelos;
- Evaluar los riesgos potenciales asociados al transporte de materiales peligrosos y elegir las rutas de transporte más adecuadas para minimizar los riesgos para las comunidades y para terceros;
- Elegir el emplazamiento de la planta teniendo en cuenta las zonas habitadas, las condiciones meteorológicas (p.ej. direcciones prevalecientes de los vientos) y los recursos hídricos (p.ej., vulnerabilidad de las aguas subterráneas). Identificar las distancias de seguridad entre la superficie de

¹⁷ Ver las directivas de la CE sobre fertilizantes CE 76/116 y CE 80/876, y la Directiva 96/82/CE de COMAH.

la planta, especialmente las explotaciones agrícolas en depósito y las zonas comunitarias;

- Identificar las medidas de prevención y mitigación necesarias para evitar o minimizar los riesgos para la comunidad;
- Elaborar un Plan de Manejo de Emergencias con la participación de las autoridades locales y comunidades que puedan verse afectadas.

Las **guías generales sobre MASS** proporcionan orientaciones adicionales sobre el manejo de los impactos en la higiene y seguridad de la comunidad durante las fases de construcción y desmantelamiento propias de toda instalación industrial de gran tamaño.

2.0 Indicadores y seguimiento del desempeño

2.1 Medio ambiente

Guías sobre emisiones y efluentes

Los Cuadros 1 y 2 presentan las guías sobre emisiones y efluentes para este sector. Las cantidades correspondientes a las emisiones y efluentes de los procesos industriales en este sector son indicativas de las prácticas internacionales recomendadas para la industria, reflejadas en las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos normativos reconocidos. Dichas cantidades pueden alcanzarse en condiciones normales de funcionamiento de instalaciones adecuadamente diseñadas y utilizadas mediante la aplicación de las técnicas de prevención y control de la contaminación que se han analizado en las secciones anteriores de este documento.

Las guías sobre emisiones son aplicables a las emisiones procedentes de la combustión. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones sobre las emisiones asociadas con actividades de producción de energía eléctrica y vapor generadas por una fuente de combustión con capacidad igual o inferior a 50 megavatios térmicos, mientras que las **guías sobre MASS para energía térmica** contienen disposiciones sobre las emisiones generadas por una fuente de energía más grande. En las guías generales sobre MASS se proporciona orientación sobre cuestiones ambientales teniendo en cuenta la carga total de emisiones.

Las guías sobre efluentes se aplican a los vertidos directos de efluentes tratados a aguas superficiales de uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden establecerse basándose en la disponibilidad y condiciones de los sistemas de tratamiento y recogida de aguas de

alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso del agua receptora que se describe en las guías generales sobre MASS. Estos niveles se deben lograr, sin dilución, al menos el 95 por ciento del tiempo que opera la planta o unidad, calculado como proporción de las horas de operación anuales. El incumplimiento de estos niveles debido a las condiciones de determinados proyectos locales se debe justificar en la evaluación ambiental correspondiente.

Cuadro 1. Niveles de emisión a la atmósfera para las plantas de producción de fertilizantes nitrogenados

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
Plantas de amoníaco¹		
NH ₃	mg/Nm ³	50
NO _x	mg/Nm ³	300
PM	mg/Nm ³	50
Plantas de ácido nítrico		
NO _x	mg/Nm ³	200
N ₂ O	mg/Nm ³	800
NH ₃	mg/Nm ³	10
PM	mg/Nm ³	50
Plantas de Urea / UAN		
Urea (perlado/granulación)	mg/Nm ³	50
NH ₃ (perlado/granulación)	mg/Nm ³	50
PM	"	50
Plantas de NA / NAC		
PM	mg/Nm ³	50
NH ₃	mg/Nm ³	50
Notas:		
1. NO _x en el gas de combustión procedente del reactor de reformado primario. El resto de las emisiones proceden del proceso, las torres de granulación, etc. NO _x en todo tipo de plantas: temperatura 273K (0°C), presión 101,3 kPa (1 atmósfera), 3% de contenido en oxígeno seco para el gas de combustión.		

Cuadro 2. Niveles de efluentes para las plantas de producción de fertilizantes nitrogenados

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
Ph	S.U.	6-9
Incremento de temperatura	°C	<3
Plantas de amoníaco		
NH ₃	mg/l	5
Nitrógeno total	mg/l	15
TSS	mg/l	30
Plantas de ácido nítrico		
NH ₃	mg/l	5
Nitrógeno total	mg/l	15
SST	mg/l	30
Plantas de urea		
Urea(perlado/granulación)	mg urea/l	1
NH ₃ (perlado/granulación)	mg/l	5
Plantas de NA / NAC		
AN	mg/l	100
NH ₃	mg/l	5
Nitrógeno total	mg/l	15
SST	mg/l	30

Cuadro 3. Consumo/Generación de recursos y energía

Producto	Unidad	Valor de referencia de la industria
Amoníaco	GJ Poder calorífico inferior (pci) /ton NH ₃	28,4 a 32,0 ⁽¹⁾
Urea	GJ/ton urea	0,4-0,45 ^{(1) (2)}
NA/NAC	KWh/ ton NA/NAC	25-60/10-50 ^{(1) (2)}
	kg vapor/ton NA/NAC	0-50/150-200 ⁽¹⁾
Ácido nítrico (generación de energía)	GJ/ton HNO ₃ (100%)	2,4 – 1,6 ⁽²⁾ (BAT – Promedio)

Fuentes:

- Asociación Europea de Fabricantes de Fertilizantes (EFMA) (2000)
- Documento de Referencia IPPC de la UE sobre Mejores prácticas disponibles para grandes volúmenes de productos químicos inorgánicos – industrias de producción de amoníaco, ácidos y fertilizantes (2006)

Uso de recursos, consumo de energía, generación de emisiones y residuos

El Cuadro 3 contiene ejemplos de indicadores de consumo / generación de recursos para el sector. Los valores de referencia de la industria se consignan únicamente con fines comparativos, y cada proyecto debería tener como objetivo lograr mejoras continuas en estas áreas.

Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos capacitados, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

2.2 Guía sobre higiene y seguridad en el trabajo

Guía sobre higiene y seguridad en el trabajo

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre la materia que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional

(TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)¹⁸, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)¹⁹, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)²⁰, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea²¹ u otras fuentes similares.

Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)²².

Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas

y realizadas por profesionales acreditados²³ como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

¹⁸ Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>.

¹⁹ Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

²⁰ Disponibles en: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

²¹ Disponibles en: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/.

²² Disponible en <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

²³ Los profesionales acreditados pueden incluir higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia del Medio Ambiente del Reino Unido (UK). 1999a. IPC Guidance Note Series 2 (S2) Chemical Industry Sector. S2 4.03: Inorganic Acids and Halogens. Bristol: Environment Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/>

Agencia del Medio Ambiente del Reino Unido (UK). 1999b. IPC Guidance Note Series 2 (S2) Chemical Industry Sector. S2 4.04: Inorganic Chemicals. Bristol: Environment Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/>

Agencia del Medio Ambiente del Reino Unido (UK). 2004. Sector Guidance Note IPPC S4.03. Guidance for the Inorganic Chemicals Sector. Bristol: Environment Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart G—Standards of Performance for Acido nítrico Plants. Washington, DC: EPA. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418. Subpart B—Amoniaco Subcategory. Washington, DC: EPA. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418. Subpart C—Urea Subcategory. Washington, DC: EPA. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418. Subpart D— Ammonium Nitrate Subcategory. Washington, DC: EPA. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418. Subpart E— Nitric Acid Subcategory. Washington, DC: EPA. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418. Subpart F— Ammonium Sulfate Subcategory. Washington, DC: EPA. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418. Subpart G— Mixed and Blend Fertilizer Production Subcategory. Washington, DC: EPA. Disponible en: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>

Comisión Europea. 2006. Oficina Europea sobre contaminación y Control Integrados (EIPPC). Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en la industria química inorgánica de gran volumen de producción (amoniaco, ácidos y abonos). Documento final. Octubre de 2006. Sevilla: EIPPCB.

EFMA (Asociación Europea de Fabricantes de Fertilizantes). 2003. Guidance for Safe Handling and Utilization of Non-Conforming Fertilizers and Related Materials for Fertilizer Producers. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

EFMA. 2002. Recommendations for the Safe and Reliable Inspection of Atmospheric, Refrigerated Ammonia Storage Tanks. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

EFMA. 2000a. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. Production of Ammonia. Booklet No. 1. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

EFMA. 2000b. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. Production of Nitric Acid. Booklet No. 2. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

EFMA. 2000c. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. Production of Urea and Urea Ammonium Nitrate. Booklet No. 5. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

EFMA. 2000d. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. Production of Ammonium Nitrate and Calcium Ammonium Nitrate. Booklet No. 6. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

EFMA. 1998. Guidelines for Transporting Nitric Acid in Tanks. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

EFMA. 2004. Guidance for Safe Handling and Utilization of Non-Conforming Solid Fertilizers and Related Materials for Fertilizer Importers, Distributors and Merchants. Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

Gobierno australiano, Department of the Environment and Heritage. 2004. Emission Estimation Technique Manual for Inorganic Chemicals Manufacturing. Version 2.0. Canberra:

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2006. Special Report. Carbon Dioxide Capture and Storage, marzo de 2006. Ginebra: IPCC. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pub/online.htm>

International Fertilizers Industry Association (IFA)/EFMA. 1992. Handbook for the Safe Storage of Ammonium Nitrate Based Fertilizers. París y Zurich: IFA/EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications>

Kirk-Othmer, R.E. 2006. Encyclopedia of Chemical Technology. 5th Edition. Nueva York, NY: John Wiley and Sons Ltd.

Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Bonn: BMU. Disponible en: http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php

Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU). 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV) de 17 de junio de 2004. Berlín: BMU. Disponible en: http://www.bmu.de/english/water_management/downloads/doc/3381.php

Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

Las actividades de producción de fertilizantes nitrogenados elaborados con amoníaco incluyen la producción de amoníaco (NH_3), urea, ácido nítrico (HNO_3), nitrato amónico (NA), nitrato de amonio cálcico (NAC), sulfato amónico y fertilizantes de nitrógeno combinado con compuestos de urea (p.ej., urea-sulfato amónico (USA), urea sulfato de aluminio), obtenidos al añadir el componente de azufre (sulfato amónico o sulfato de aluminio) a la urea fundida, y fertilizantes líquidos de urea nitrato amónico (UAN) (28, 30 o 32 por ciento N).

Amoníaco

El reformado de gas natural con vapor y aire es el procedimiento más sencillo y eficaz para producir gas de síntesis de amoníaco, y es el que se emplea habitualmente en la industria.

El amoníaco se obtiene a partir de una reacción exotérmica de hidrógeno y nitrógeno. Esta reacción se produce en presencia de catalizadores de óxidos metálicos a altas presiones. Los catalizadores empleados en el proceso pueden contener cobalto, molibdeno, níquel, óxido de hierro/óxido de cromo, óxido de cobre/óxido de zinc y hierro. El amoníaco en forma líquida se almacena bien en grandes tanques atmosféricos a una temperatura de -33 grados centígrados, bien en grandes esferas a una presión de hasta 20 atmósferas a temperatura ambiente. La fuente material bruta de nitrógeno es el aire atmosférico, y puede utilizarse en su estado natural como aire comprimido o como nitrógeno puro procedente de una planta de licuefacción de aire. El hidrógeno puede obtenerse de distintas fuentes, como el gas natural, el petróleo crudo, la nafta o los gases residuales procedentes de procesos tales como los hornos de coque y las refinerías.

El proceso de producción de amoníaco a partir de gas natural incluye las siguientes fases: la eliminación de los restos de

azufre de la materia prima; el reformado primario y secundario, la conversión del monóxido de carbono, la eliminación del anhídrido carbónico, la metanación, la compresión, la síntesis de amoníaco y la refrigeración del amoníaco producido. El carbón se elimina en forma de dióxido de carbono concentrado (CO_2), que puede emplearse en la fabricación de urea y otros usos industriales para evitar su vertido en la atmósfera.

Otro procedimiento para producir amoníaco consiste en la oxidación parcial de gasoil pesado o residuo de vacío. Los dos procedimientos no convencionales son:

- Añadir más aire de proceso al reformado secundario mediante la eliminación criogénica del exceso de nitrógeno
- El intercambio de calor del reformado autotérmico²⁴

El amoníaco licuado de las plantas de producción se utiliza directamente en las plantas aguas abajo o se traslada a tanques de almacenamiento. Una vez almacenado, el amoníaco puede enviarse a los usuarios por medio de camiones cisterna, vagones cisterna o buques cisterna. Para el almacenamiento de amoníaco suele emplearse uno de los siguientes tres procedimientos:

- El almacenamiento refrigerado en grandes tanques con una capacidad media de 10.000 a 30.000 toneladas (hasta 50.000 toneladas). Estos tanques pueden ser depósitos de contención única y pared única con sujeción, tanques de doble contención dotados de dos paredes verticales o tanques de almacenamiento cerrado de contención plena con doble pared;
- Esferas o cilindros de almacenamiento a presión con una capacidad de hasta aproximadamente 1.700 toneladas;

²⁴ Este último procedimiento comporta algunas ventajas ambientales, ya que permite prescindir del reformado primario y consumir menos energía.

- Tanques semi refrigerados.

Urea

La síntesis de la urea requiere mezclar amoníaco y anhídrido carbónico a altas presiones para formar carbamato amónico, que posteriormente se deshidrata mediante la aplicación de calor para formar urea y agua. El primer paso es rápido y exotérmico y se completa básicamente en las condiciones de reacción de uso industrial. El segundo paso es más lento y endotérmico y no llega a completar el proceso. La conversión (en base al CO₂) alcanza el 50-80 por ciento y aumenta conforme lo hace la temperatura y el coeficiente de NH₃/CO₂.

Se emplean dos sistemas comerciales de separación: uno utiliza como gas de separación el CO₂ y el otro NH₃. La solución de urea resultante de las fases de síntesis/reciclado del proceso se concentra posteriormente en una solución de urea para convertirla en producto granulado sólido.

Con la técnica de perlado, la mezcla de urea concentrada (99,7 por ciento) se introduce en una boquilla de pulverización giratoria/tipo ducha colocado sobre la torre de granulación. Las gotículas líquidas se forman al solidificarse y enfriarse durante su libre caída en la torre en contacto con un tiro ascendente forzado o natural de aire ambiente. El producto se transfiere de la base de la torre a una cinta transportadora. Antes de almacenar el producto, puede enfriarse a temperatura ambiente y tamizarse. El diámetro medio de granulado suele oscilar entre 1,6 y 2,0 milímetros (mm) para las operaciones de granulación. Puede recurrirse al acondicionamiento de la solución de urea y a la cristalización de la solución para mejorar las propiedades antiaglomerantes y mecánicas del producto perlado durante su almacenamiento/manipulación.

Para la granulación se emplea como materia prima una urea de concentración inferior (95-99,7 por ciento). La menor concentración de materia prima permite eludir la segunda fase

del proceso de evaporación y simplifica el tratamiento de condensado de proceso. Este proceso consiste en pulverizar la solución sobre las partículas o perlas sembradas recicladas que circulan en el granulador. El aire que pasa a través del granulador solidifica la mezcla depositada en el material de siembra. Los procesos que requieren una menor concentración de materia prima exigen emplear menos aire de refrigeración, ya que cierta medida de calor se disipa durante la cristalización de la urea al evaporarse un volumen adicional de agua. Normalmente, el producto que sale del granulador se enfría y tamiza antes almacenarse. Asimismo, puede procederse al acondicionamiento de la mezcla de urea antes de pulverizarla para mejorar las características de almacenamiento/manipulación del producto granulado. Puede utilizarse una inyección de formaldehído acuoso para incorporar el formaldehído al producto final como agente de acondicionamiento en niveles que oscilan entre un 0,05 y un 0,5 por ciento.

Ácido nítrico

Las fases de producción de ácido nítrico consisten en: vaporizar el amoníaco líquido; mezlar el vapor con aire y quemar la mezcla sobre un catalizador de platino/rodio; enfriar el óxido nítrico (NO) obtenido y oxidarlo a dióxido de nitrógeno (NO₂) con oxígeno residual; y absorber el dióxido de nitrógeno en agua en una columna de absorción para formar ácido nítrico. Las plantas de mayor capacidad suelen disponer de un diseño de presión dual (es decir, combustión a media presión y absorción a alta presión), mientras que en las plantas de menor tamaño la combustión y la absorción pueden llevarse a cabo a la misma presión. Una presión elevada en la columna de absorción reduce las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x), aunque se precisará de la reducción catalítica para cumplir con los límites a las emisiones comúnmente aplicados.

Nitrato amónico (NA) y nitrato de amonio cálcico (NAC)

El nitrato amónico (NA) se utiliza con mucha frecuencia como fertilizante nitrogenado, aunque también se emplea como explosivo. El nitrato amónico se obtiene de la reacción entre el amoníaco gaseoso y el ácido nítrico acuoso. El proceso de producción comprende tres operaciones principales: neutralización, evaporación y solidificación (perlado y granulación). Los neutralizadores pueden consistir en depósitos de ebullición libre, sistemas de circulación o reactores tubulares. La solución de nitrato amónico obtenida a partir de la neutralización puede utilizarse de varias formas, en plantas aguas abajo, o venderse tal cuales y formar un nitrato amónico sólido mediante el proceso de perlado o granulación. El nitrato amónico se mezcla con un relleno sólido, principalmente con carbonato de calcio (caliza o dolomita), que se añade antes de la formación de las gotículas, cuando se está produciendo el nitrato de amonio cálcico (NAC).

El evaporador elimina casi todo el agua de la solución de NA hasta alcanzar un contenido en agua aceptable para el proceso empleado en la obtención del producto acabado (normalmente, por debajo de un 1 por ciento en el caso de los productos perlados y hasta un 8 por ciento en ciertos procesos de granulación). El nitrato amónico suministrado se procesa en las plantas de perlado.

Durante la granulación en cubas y tambores giratorios, granuladores, galleteras y lechos fluidizados, se pulveriza una solución concentrada caliente de AN. Normalmente no se requiere el secado ulterior de los gránulos. Los gránulos se filtran y los finos y elementos triturados de tamaño excesivo se devuelven al granulador.

Asimismo, se fabrican productos granulados que contienen amonio o sulfato de calcio. Los productos fertilizantes sólidos

finales pueden abandonar el emplazamiento de la producción a granel o en envases de muy diverso tamaño.

Sulfato amónico

Antes, el sulfato amónico ((NH₄)₂SO₄) se producía de forma sintética a través de la reacción directa del amoníaco con el ácido sulfúrico y de otros procesos industriales, como la reacción entre carbonato amónico (NH₄CO₃) y sulfato de calcio (Ca₂SO₄). En la actualidad, la mayor parte del sulfato de amonio se obtiene como subproducto del caprolactama, acrilonitrilo, reducción de SO₂ y producción de coque.

En los procesos de producción sintéticos, los cristales de sulfato amónico se forman mezclando carbonato anhidro y ácido sulfúrico en un reactor y circulan el sulfato amónico líquido a través de un evaporador de agua. Los cristales se separan del líquido en una centrifuga y se inyectan en un lecho fluidizado o en un tambor giratorio de secado y se tamizan antes de su embolsado o carga a granel.

En los procesos de producción de acrilonitrilo y caprolactam, la reacción del exceso de amoníaco/ácido sulfúrico con el ácido sulfúrico/amoniaco genera una solución de sulfato de amonio que puede venderse como fertilizante. La cristalización es la única forma de obtener sulfato amónico sólido reutilizable. La recuperación de sulfato amónico también incluye instalaciones para la eliminación de sustancias orgánicas y finos de catalizador.