

Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de fertilizantes de fosfato

Introducción

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad 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 medio ambiente, salud y seguridad se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, 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. Los proyectos más complejos podrían requerir el uso de múltiples guías para distintos sectores de la industria. Para una lista completa de guías sobre los distintos sectores de la industria, visitar: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad 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. Cuando, en vista de las circunstancias específicas de cada proyecto, se considere necesario aplicar medidas o niveles menos exigentes que aquellos proporcionados por estas Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad, será necesario aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental en un sector concreto. Esta justificación debería demostrar que los niveles de desempeño escogidos garantizan la protección de la salud y el medio ambiente.

Aplicabilidad

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de Fertilizantes de fosfato incluyen información

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.

relevante para las plantas dedicadas a la producción de ácido fosfórico, superfosfato simple (SSP), superfosfato triple (TSP), y fertilizantes compuestos (NPK). El Anexo A contiene un resumen de las actividades del sector industrial. 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 con las plantas de fabricación de fertilizantes de fosfato que tienen lugar durante la fase operacional, así como recomendaciones para su manejo. Por otra parte, en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de las cuestiones de este tipo que son comunes a la mayoría de los grandes establecimientos industriales durante las etapas de construcción y de desmantelamiento.

1.1 Medio ambiente

Las cuestiones ambientales relacionadas con la fabricación de fertilizantes de fosfato incluyen principalmente:

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

Emisiones a la atmósfera

Emisiones de fuentes de combustión

Las emisiones de gases de escape producidas por la combustión de gas o diésel en turbinas, calderas, compresores, bombas y otros motores dedicados a la generación de electricidad y calor constituyen una fuente significativa de emisiones a la atmósfera procedentes de las instalaciones de fabricación de fertilizantes de fosfato. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de pequeñas emisiones de fuentes de combustión con una capacidad de hasta 50 megavatios térmicos (MWth), incluidas normas de emisión a la

atmósfera de emisiones de escape. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** también contienen recomendaciones para la conservación de energía, que puede contribuir de forma notable a reducir las emisiones relacionadas con la producción de energía. La producción de fertilizantes de fosfatos es un proceso intensivo en términos de energía y suele requerir un uso considerable de energía procedente de combustibles fósiles, lo que da lugar a una generación de gases de efecto invernadero considerable. El método empleado para producir nitrofosfato requiere el uso de CO₂. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones para el manejo de los GEI, además de indicaciones para la conservación y eficiencia energética.

Emisiones de proceso – Producción de ácido fosfórico

Pueden emplearse dos procesos distintos de producción para fabricar ácido fosfórico.

- Durante el proceso húmedo, el más habitual en las plantas de fabricación de fertilizantes, la roca fosfórica se digiere con ayuda de un ácido (por ejemplo sulfúrico, nítrico o clorhídrico). El fosfato tricálcico obtenido a partir de la roca fosfórica reacciona al ácido sulfúrico concentrado para producir ácido fosfórico y sulfato de calcio, que es una sal no soluble.
- En el proceso térmico, donde el fósforo elemental se produce a partir de la roca fosfórica, el coque y el sílice en un horno de resistencia eléctrica y se oxida e hidrata para formar el ácido. El ácido generado mediante el proceso térmico es notablemente puro, aunque también caro, y por lo tanto se produce en pequeñas cantidades, sobre todo para la fabricación de fosfatos industriales.

Las emisiones de proceso incluyen fluoruros gaseosos en forma de ácido fluorhídrico (HF) y tetrafluoruro de silicio (SiF₄),

liberados durante la digestión de la roca fosfórica, que suele contener entre un 2 y un 4 por ciento de flúor.

Las emisiones normalmente asociadas con el proceso térmico de producción del ácido fosfórico incluyen fosfatos, fluoruro, polvo, cadmio (Cd), plomo (Pb), cinc (Zn) y radionúclidos (Po-210 y Pb-210). Las emisiones de polvo, que contienen fluoruro insoluble en agua, pueden darse durante la descarga, manejo y trituración de la roca fosfórica, que se transfiere hasta las secciones de almacenamiento y trituración mediante cintas transportadoras o camiones².

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

- Seleccionar adecuadamente la roca fosfórica (en términos de contenido en P_2O_5 , F, índice de CaO/P_2O_5 y calidad física) para minimizar la cantidad de ácido requerida en el proceso húmedo de producción, reducir las emisiones al medio ambiente y aumentar las probabilidades de reutilización del yeso fosfatado
- Seleccionar el tamaño adecuado de filtros y molinos (por ejemplo molinos de cilindros o de cadena)
- Utilizar cintas transportadoras cubiertas y almacenamiento bajo techado
- Implementar medidas de buen mantenimiento (por ejemplo, la limpieza/barrido frecuente de las superficies de las instalaciones y el muelle)
- Recuperar el polvo procedente de la trituración de la roca fosfórica mediante el uso de filtros textiles, cerámicos y/o ciclones
- Tratar las emisiones gaseosas de fluoruro empleando sistemas de lavado (por ejemplo, torres vacías de pulverización, lechos fijos, ventura de flujo transversal y lavadores de columna ciclónica). El flúor se recupera como

ácido fluosilícico, extrayéndose del mismo el sílice mediante filtración. Puede emplearse una solución diluida de ácido fluosilícico (H_2SiF_6) como líquido de depuración. La recuperación del H_2SiF_6 constituye otra oportunidad para reducir las emisiones de fluoruro.

Emisiones de proceso – Producción de fertilizantes de superfosfato

Las emisiones de polvo pueden generarse durante la descarga, manejo, trituración y curación de la roca fosfórica, además de la granulación y molienda de superfosfatos. Las emisiones de ácido fluorhídrico gaseoso (HF), tetrafluoruro de silicio (SiF_4) y cloruros pueden darse también durante la acidulación, granulación y secado. El amoníaco (NH_3) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) pueden originarse durante las fases de secado y neutralización de los fertilizantes de nitrato de amonio. Además, durante la reacción de la roca fosfórica al ácido, se liberan cantidades limitadas de compuestos orgánicos (incluidos mercaptanos) presentes en la roca fosfórica, pudiendo provocar olores³.

Las emisiones de polvo de roca fosfórica se evitarán y controlarán con medidas similares a las descritas en la sección sobre producción de ácido fosfórico. Algunas de las medidas adicionales recomendadas para prevenir y controlar las emisiones consisten en:

- Utilizar la granulación directa permite reducir los niveles de emisiones fugitivas en comparación con las emisiones de curación derivadas de la granulación indirecta. En caso de emplearse la granulación indirecta, la sección de curación consistirá en un sistema bajo techado con respiraderos conectados a un sistema depurador o a la sección de granulación.

² IPCC BREF (2006) y EFMA (2000a).

³ IPCC BREF. Octubre de 2006.

- Utilizar sistemas de refrigeración de bandeja para reducir los requisitos de flujo de aire (por ejemplo en lugar de tambores giratorios o enfriadores de lecho fluidizado)
- Estudiar la posibilidad de usar filtros textiles o ciclones de alta eficacia y/o filtros textiles en lugar de sistemas de depuración húmeda para tratar el aire de escape procedente de la neutralización, granulación, secado, revestimiento y enfriadores de producto y respiradores de los equipos para evitar la creación de más aguas residuales. El aire filtrado se reciclará como aire de dilución en el sistema de combustión de secado.
- Minimizar las emisiones originadas durante la granulación mediante la aplicación de tolvas de compensación a los sistemas de medición de la distribución de tamaño de productos para el control de reciclaje de granulación.

Emisiones de proceso – Producción de fertilizantes compuestos

Los fertilizantes NPK suelen producirse a partir de ácidos mixtos y nitrofosfato. Las emisiones a la atmósfera procedentes de los NPK producidos empleando el método de ácidos mixtos incluyen emisiones de amoníaco generadas por los reactores de amonificación; óxidos de nitrógeno (NO_x), principalmente NO y NO₂ con algo de ácido nítrico, generados durante la digestión de la roca fosfórica en ácido nítrico; fluoruros procedentes de las reacciones de la roca fosfórica; emisiones de aerosoles, incluido el nitrato de amoníaco (NH₄NO₃), fluoruro de amoníaco (NH₄F) y cloruro de amoníaco (NH₄Cl), formados durante la reacción de neutralización de la fase gaseosa entre el amoníaco y los componentes ácidos, así como durante la sublimación en la mezcla de reacción en ebullición; y el polvo de fertilizante originado en los tambores de secado y enfriamiento además de otras fuentes (por ejemplo filtros, trituradores y transportadores).

Las emisiones a la atmósfera de los NPK producidos empleando el método del nitrofosfato son similares a los

descritos para el método de los ácidos mixtos, aunque también pueden contener emisiones de aerosoles (por ejemplo del secador y del granulador) de cloruro de amoníaco (NH₄Cl), originado a partir de la reacción del amoníaco y el cloruro de hidrógeno (HCl) al añadir cloruro de potasio (KCl) al polvo⁴. Otras emisiones significativas a la atmósfera incluyen amoníaco procedente de la neutralización del ácido nitrofosfórico. Las emisiones de amoníaco también pueden generarse en la sección de conversión del tetrahidrato de nitrato cálcico (CNTH, fórmula empírica: Ca(NO₃)₂*4H₂O), la sección de evaporación del nitrato de amoníaco (AN, fórmula empírica: NH₄NO₃) y las secciones de granulación o perlado. Los aerosoles de nitrato de amoníaco también pueden formarse durante las distintas etapas de producción, mientras que las emisiones de cloruro de hidrógeno (HCl) pueden estar presentes en los gases de escape de granuladores de tambor, ciclones y sistemas de depuración⁵.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar las emisiones a la atmósfera incluyen:

- Reducir la emisión de NO_x procedente del uso de ácido nítrico en la digestión de la roca fosfórica controlando la temperatura del reactor⁶, optimizando el coeficiente de roca fosfórica / ácido y añadiendo una solución de urea
- Tratar los gases generados en el reactor de digestión en un depurador de torre de pulverización para recuperar el NO_x y los compuestos de flúor. El pH puede ajustarse añadiendo amoníaco
- Reducir las emisiones de NO_x y olores seleccionando roca fosfórica de alta calidad con bajo contenido en compuestos orgánicos y sales ferrosas

⁴ Estas emisiones pueden provocar el llamado "efecto Tyndall", dando lugar a una niebla azulada en la chimenea.

⁵ EIPPCB BREF (2006) y EFMA (2000b,c)

⁶ Las altas temperaturas se traducen en una excesiva formación de NO_x.

- Controlar las emisiones de material particulado, tal y como se describe en la sección sobre producción de ácido fosfórico
- Prevenir y / o controlar las emisiones procedentes de la granulación y enfriamiento del producto, incluyendo:
 - Depurar los gases procedentes del granulador y del secador en lavadores Venturi que recirculen la solución de fosfato de amoníaco o de sulfo-fosfato de amonio
 - Descargar los gases depurados por medio de columnas ciclónicas irrigadas con una solución ácida;
 - Emplear ciclones de alta eficacia para extraer las partículas de los gases de secador antes de proceder a la depuración
 - Reciclar el aire procedente de los equipos de enfriamiento como aire secundario para el secador después de extraer el polvo
 - Tratar las emisiones de amoníaco mediante la depuración con soluciones ácidas
- Las emisiones de fluoruro se controlarán con sistemas de depuración descritos en la sección sobre producción de ácido fosfórico.
- Las emisiones a la atmósfera procedentes de la digestión de la roca fosfórica, el lavado de arena y la filtración de CNTH se reducirán aplicando los controles adecuados (por ejemplo depuración en múltiples etapas, conversión en cianuros).
- Extraer el amoníaco presente en los gases emitidos durante las fases de neutralización nitrofosfórica mediante depuradores a contracorriente, ajustando el pH al valor más eficiente para la depuración (pH 3-4), con una mezcla de HNO_3 y/o H_2SO_4
- Tratar las emisiones de amoníaco de las secciones de granulación / secado mediante la depuración con soluciones ácidas
- Minimizar el contacto entre los residuos que contengan NO_x y NH_3 para evitar la formación de aerosoles al emplear el método del nitrofosfato para producir NPK
- Reducir las emisiones de aerosoles instalando ciclones y depuradores
- Reducir las emisiones de fluoruros mediante el reciclaje del aire caliente.

Emisiones fugitivas

Las emisiones fugitivas se asocian principalmente con fugas en las tuberías, válvulas, conexiones, bridas, envases, líneas abiertas, tanques de almacenamiento de techo flotante y juntas de las bombas, sistemas transportadores de gas, juntas de compresores, válvulas de seguridad, depósitos o fosas abiertas / contenedores, y la carga y descarga de productos.

Entre las medidas que pueden adoptarse para reducir la generación de emisiones fugitivas están:

- Seleccionar las válvulas, bridas y accesorios adecuados durante el diseño, operación y mantenimiento
- Implementar programas de seguimiento, mantenimiento y reparación, especialmente de las cajas de relleno en los vástagos de válvula y asientos en las válvulas de seguridad, para reducir o eliminar los vertidos accidentales
- Instalar sistemas de detección de fugas y vigilancia continua en todas las áreas sensibles
- Evitar el uso de respiradores abiertos en los techos de los tanques mediante la instalación de válvulas de seguridad. Los almacenes y estaciones de descarga se equiparán con unidades de recuperación de vapor. Los sistemas de procesamiento de vapor pueden consistir en distintos métodos, como son la adsorción, refrigeración, reciclado, recolección y quema de carbono.

Aguas residuales

Efluentes – Producción de ácido fosfórico

Los efluentes de las plantas de ácido fosfórico consisten en descargas procedentes de los condensadores del enfriador de vacío y de los sistemas de depuración de gas empleados para condensar y limpiar los vapores generados durante las operaciones de proceso. Los vapores ácidos condensados pueden contener flúor y pequeñas cantidades de ácido fosfórico. El agua de los lodos empleados para transportar el yeso fosfatado, el subproducto de la producción húmeda de ácido fosfórico, pueden liberarse como efluente si no se recicla nuevamente en el proceso. Las emisiones al agua dirigidas a eliminar el yeso pueden contener una cantidad notable de impurezas, como los compuestos de fósforo y flúor, el cadmio y otros metales pesados y radionúclidos. El drenaje de las pilas de material puede contener metales pesados (por ejemplo Cd, mercurio [Hg] y Pb), fluoruros y ácido fosfórico. Las emisiones específicas al agua procedentes del proceso térmico de producción de ácido fosfórico pueden incluir compuestos de fósforo y flúor, polvo, metales pesados y radionúclidos (por ejemplo, Po-210 y Pb-210). Las medidas recomendadas para el manejo de los efluentes incluyen⁷:

- Seleccionar roca fosfórica con niveles reducidos de impurezas para producir yeso limpio y reducir los impactos potenciales derivados de la eliminación de yeso
- Estudiar la posibilidad de emplear sistemas en seco para reducir la contaminación del aire (en lugar del lavado húmedo) para limitar la generación de aguas residuales. Para reducir las emisiones de fluoruro, se instalarán depuradores con líquidos de depuración adecuados cuando sea necesario.
- Recuperar el flúor emitido por el reactor y los evaporadores como subproducto comercial (ácido fluosilícico)

- Las aguas de depuración se eliminarán después de neutralizarse con cal o carbonato cálcico para precipitar flúor como fluoruro de calcio sólido, siempre que el flúor no vaya a recuperarse.
- Reciclar el agua empleada para transportar el yeso fosfatado para volver a usarla en el proceso después de la fase de sedimentación.
- Siempre que esté disponible, estudiar la posibilidad de emplear agua marina como líquido de depuración para facilitar la reacción del flúor al inocuo fluoruro de calcio
- Minimizar la contaminación del efluente de depuración con pentóxido de fósforo (P_2O_5) transportando los vapores procedentes de los enfriadores de vacío instantáneos y de los evaporadores de vacío para extraer las gotas de ácido fosfórico
- Minimizar la contaminación del efluente de depuración con pentóxido de fósforo P_2O_5 empleando separadores de arrastre. La extracción adicional de fosfato puede llevarse a cabo aplicando fosfato de magnesio y amonio (estruvita) o mediante la precipitación de fosfato cálcico
- Estudiar la posibilidad de aplicar el descadmiado del H_3PO_4 hasta el 95% mediante la extracción reactiva con un disolvente orgánico

Efluentes – Producción de fertilizantes de superfosfato

La principal fuente de aguas residuales en la producción de fertilizantes de fosfato son los sistemas de lavado húmedo empleados para tratar los gases emitidos. Los contaminantes pueden incluir sólidos filtrables, fósforo total, amoníaco, fluoruros, metales pesados (por ejemplo Cd, Hg, Pb) y la demanda química de oxígeno (DQO). Se maximizará el reciclaje de los líquidos de depuración en el proceso. La producción de roca fosfórica acidulada (PAPR), un fertilizante que consiste en la mezcla de superfosfato y roca fosfórica,

⁷ IPCC BREF (2006) y EFMA (2000a).

además de superfosfato (SSP) y superfosfato triple (TSP), puede reducir los volúmenes de aguas residuales⁸.

Efluentes – Producción de fertilizantes compuestos

Los efluentes suelen ser limitados en las instalaciones que emplean el método de los ácidos mixtos para producir NPK, consistiendo principalmente en aguas residuales procedentes de la granulación y la depuración de gases de escape.

Los efluentes de las plantas de NPK que empleen el método del nitrofosfato pueden contener amoníaco, nitrato, fluoruro y fosfato. El amoníaco está presente en los efluentes de los condensados de la evaporación del nitrato de amoníaco o de la neutralización de la solución de ácido nitrofosfórico. Las soluciones que contengan nitrato de amoníaco deben bombearse con cuidado para limitar los riesgos de explosiones. Las principales fuentes de nitrato y fluoruro en el efluente son las aguas de depuración empleadas en la digestión de fosfato y el lavado de arena (extraída de los lodos de proceso). El lavado de arena también genera un contenido en fosfato en el efluente.

Las medidas recomendadas para el manejo de los efluentes incluyen:⁹

- Reciclar el agua de lavado de la arena para reducir los niveles de fosfato en los efluentes de aguas residuales
- Evitar la condensación de los vapores procedentes de la evaporación del nitrato de amoníaco
- Reciclar el agua de depuración del NO_x para reducir los niveles de amoníaco, nitrato, fluoruro y fosfato
- Reciclar las aguas de depuración de los gases de escape durante la neutralización
- Estudiar la posibilidad de reutilizar los efluentes como elemento de depuración

- Tratar las aguas de depuración en múltiples etapas después de la circulación mediante la sedimentación (separación de sólidos), y reciclar la porción gruesa en los reactores
- Estudiar la posibilidad de llevar a cabo el tratamiento combinado de los gases de escape procedentes de la neutralización, evaporación y granulación. Esto permite reciclar todos los líquidos de depuración en el proceso de producción y reducir la generación de aguas residuales
- Tratar las aguas residuales mediante el tratamiento biológico con la nitrificación/desnitrificación y la precipitación de los compuestos de fósforo.

Tratamiento de aguas residuales de procesos

Las técnicas empleadas para tratar las aguas residuales de proceso en este sector incluyen la filtración para separar los sólidos filtrables; la equalización de flujo y carga; la sedimentación para reducir los sólidos en suspensión empleando clarificadores; extraer el fosfato utilizando métodos de tratamiento físico-químico; extraer amoníaco y nitrógeno usando métodos de tratamiento físico-químico; deshidratar y eliminar los residuos en vertederos designados para residuos. Pueden ser necesarios otros sistemas técnicos de control para i) la extracción del fluoruro y ii) la eliminación avanzada de metales mediante la filtración por membrana u otras tecnologías de tratamiento físico/químico.

En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se explica la gestión de aguas residuales industriales y se ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. Mediante el uso de estas tecnologías y técnicas recomendadas para la gestión de aguas residuales, los 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 sectorial.

⁸ IPCC BREF (2006).

⁹ IPCC BREF (2006) y EFMA (2000b,c).

Consumo de agua y otras corrientes de aguas residuales

En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** 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 medio ambiente, salud y seguridad**.

Materiales peligrosos

Las plantas de fabricación de fertilizantes de fosfato emplean, almacenan y distribuyen cantidades considerables de materiales peligrosos (por ejemplo ácidos y amoníaco). En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se formulan recomendaciones sobre la gestión de materiales peligrosos, incluso la manipulación, el almacenamiento y el transporte. Cuando sea preciso, la fabricación y distribución de materiales se llevará a cabo de acuerdo con los requisitos internacionales¹⁰.

Residuos

Ciertos procesos de fabricación de fertilizantes de fosfato, incluido el yeso fosfatado originado en la producción húmeda de ácido fosfórico y la arena de cuarzo procedente de la producción de NPK empleando el método del nitrofosfato, pueden generar residuos sólidos no peligrosos. La arena de cuarzo se separará, lavará y reciclará como material de construcción. Los procesos de fabricación de fertilizantes de fosfato generan una cantidad limitada de residuos peligrosos. Además de la información específica de la industria descrita a

¹⁰ Por ejemplo, el Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.

continuación, las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones sobre el manejo de residuos peligrosos y no peligrosos.

Yeso fosfatado

El yeso fosfatado es el subproducto más significativo en la producción húmeda de ácido fosfórico (se producen aproximadamente entre 4 y 5 toneladas de yeso fosfatado por cada tonelada de ácido fosfórico, como P₂O₅, producido¹¹). El yeso fosfatado contiene una amplia gama de impurezas (acidez residual, compuestos de flúor, elementos traza de mercurio, plomo y componentes radiactivos¹²). Las impurezas y cantidades considerables de fosfato pueden liberarse en el medio ambiente (suelo, aguas subterráneas y aguas superficiales). Las prácticas para prevenir y controlar la contaminación específica del sector incluyen¹³:

- Dependiendo de su potencial peligrosidad (por ejemplo si emite radón), el yeso fosfatado puede procesarse para mejorar su calidad y reutilizarse (por ejemplo como material de construcción). Las posibles opciones incluyen:
 - La producción de yeso fosfatado más limpio procedente de las materias primas (roca fosfórica) con niveles inferiores de impurezas
 - El uso de la fabricación a partir de pasta secundaria
- El uso del proceso de recristalización di-hemihidrato con filtración de doble fase
- Cuando el yeso fosfatado no pueda reciclarse debido a la ausencia de alternativas comercial y técnicamente viables, se gestionará como residuo industrial peligroso o no peligroso en función de sus características y de acuerdo

¹¹ El yeso contiene una amplia gama de impurezas (acidez residual, compuestos de flúor, elementos traza de mercurio, plomo y componentes radiactivos). IPPC BREF (2006)

¹² La roca fosfórica, el yeso fosfatado y los efluentes generados por las plantas de ácido fosfórico tienen por lo general una radiactividad inferior a los valores límite establecidos en la normativa y las guías internacionales pertinentes (por ejemplo, Directiva de la UE 96/26/EURATOM).

¹³ IPPC BREF (2006) y EFMA (2000^a,b,c).

con las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.¹⁴ Las alternativas adicionales de manejo incluyen el relleno en fosas mineras, el apilamiento seco¹⁵ y el apilamiento húmedo.

Ruido

Las fuentes más frecuentes de emisiones de ruido son los grandes equipos giratorios, incluidos compresores y turbinas, bombas, motores eléctricos, sistemas de refrigeración de aire, tambores giratorios, esferodizadores, cintas transportadoras, grúas, calentadores de aire, y la despresurización de emergencia. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona orientación sobre el control del ruido.

1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Las consecuencias que la construcción, la operación y el desmantelamiento de las instalaciones de fertilizantes nitrogenados pueden acarrear para la higiene y seguridad en la comunidad son comunes a la mayoría de los establecimientos industriales, y se explican en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

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 [QRA]. En general, la 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 medio ambiente, salud y seguridad**.

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 de fosfato, incluyendo principalmente:

- Seguridad en los procesos
- Riesgos de origen químico
- Descomposición, incendios y explosiones

Seguridad en 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

El amoníaco y los vapores ácidos, especialmente el HF, son sustancias químicas tóxicas de uso habitual en las plantas de

¹⁴ La clasificación del yeso fosfatado como residuo peligroso o no peligroso dependerá del nivel de emisiones de radón del material. La extracción de este material de la pila y su subsiguiente eliminación se someterán a los requisitos normativos específicos de cada jurisdicción.

¹⁵ Cabe mencionar que el apilamiento seco no elimina las filtraciones de agua ácida excepto en climas muy áridos.

fabricación de fertilizantes de fosfato. Los valores umbral asociados con los efectos específicos sobre la salud pueden consultarse en las guías internacionales sobre exposición (ver más abajo el apartado sobre Seguimiento). Además de las recomendaciones sobre exposición química en las Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad, las siguientes orientaciones sirven para prevenir y controlar la exposición de origen químico en este sector:

- Evitar el contacto de los ácidos con sustancias fuertemente cáusticas. La reacción resultante es exotérmica y puede provocar salpicaduras.
- Controlar la acumulación de gas de fluoruro en los tanques de almacenamiento de ácido fosfórico
- Instalar detectores de gas en las zonas de riesgo
- Proporcionar una adecuada ventilación (por ejemplo sistemas de extracción y filtración de aire) en todas las áreas donde se produzca, almacenen y manejen productos
- Proporcionar a los trabajadores la capacitación y los equipos de protección personal descritos en las Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad.

Descomposición, incendios y explosiones

Los riesgos de descomposición¹⁶, incendios y explosiones pueden proceder de las explosiones de las bombas de lodos a causa de un insuficiente flujo por la bomba o de un diseño incorrecto; la descomposición de los lodos debido a un reducido pH, altas temperaturas y materias primas contaminadas; y la generación de gas de hidrógeno debido al contacto del ácido fosfórico con metales ferrosos.

El riesgo de descomposición, incendios y explosiones puede minimizarse adoptando medidas tales como¹⁷:

- Reducir el inventario de amoníaco, ácidos nítricos y sulfúricos al máximo posible. Se recomienda el suministro por conductos en los complejos químicos integrados.
- Evitar el riesgo de descomposición de los fertilizantes NPK mediante el control de la temperatura durante la producción, el ajuste de las formulaciones y la reducción de las impurezas. Evitar la acumulación de compuestos en las aletas de los orificios de entrada del secador y se garantizará un perfil de temperatura uniforme en la entrada de aire.
- Segregar las zonas de proceso, almacenamiento, servicios y de seguridad y adoptar las distancias de seguridad correspondientes
- Implementar operaciones bien controladas y procedimientos para evitar las mezclas de gas peligroso y lodos
- Almacenar NPK de acuerdo con las guías y requisitos reconocidos internacionalmente¹⁸. Instalar un sistema adecuado de detección y extinción de incendios
- Limpiar las zonas de almacenamiento antes de introducir fertilizantes en ellas. Limpiar los vertidos tan pronto como sea posible. Evitar la contaminación de los fertilizantes con sustancias orgánicas durante el almacenamiento
- No almacenar fertilizantes junto a fuentes de calor o a la luz directa del sol o en condiciones donde pueda producirse el ciclo de temperatura.
- Evitar el contacto del ácido fosfórico con componentes de metales ferrosos. Utilizar acero inoxidable en los componentes que puedan entrar en contacto con el ácido

¹⁶ La fabricación, almacenamiento y transporte de los fertilizantes NPK puede plantear riesgos relacionados con la descomposición autosostenida de los compuestos de fertilizantes con nitrato de amonio a temperaturas superiores a los 130°C¹⁶. La descomposición depende de la calidad y la formulación del producto y puede generar cantidades considerables de humos tóxicos.

¹⁷ EFMA. 2000b,c.

¹⁸ Ver por ejemplo las Directivas sobre fertilizantes CE 76/116 y CE 80/876 y la Directiva COMAH Directive 96/82/CE.

1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** 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.

Los riesgos más significativos para la higiene y la seguridad de la comunidad durante la operación de las plantas de fertilizantes de fosfato se asocian con el manejo, el almacenamiento y el transporte de materiales y productos peligrosos, la posibilidad de que se produzcan fugas / vertidos accidentales de gases tóxicos e inflamables y la eliminación de residuos (por ejemplo yeso fosfatado, productos fuera de especificación, lodos). El diseño de la planta y sus operaciones incluirán salvaguardias 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 con el transporte de materiales peligrosos y seleccionar las vías de transporte más apropiadas para minimizar los riesgos a comunidades y terceros
- Seleccionar la ubicación de la planta teniendo en cuenta las zonas habitadas, las condiciones meteorológicas (por ejemplo dirección predominante del viento) y los recursos hídricos (por ejemplo vulnerabilidad de las aguas subterráneas). Identificar distancias de seguridad entre la

planta, especialmente en las áreas de tanques de almacenamiento y zonas comunitarias

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

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** ofrecen recomendaciones para el transporte de materiales peligrosos, la elaboración de planes de preparación y respuesta en caso de emergencia y otras cuestiones relacionadas con la higiene y seguridad de la comunidad.

2.0 Indicadores y seguimiento del desempeño

2.1 Medio ambiente

Guías sobre emisiones y efluentes

En los Cuadros 1 y 2 se 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 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 recolección 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 medio ambiente, salud y seguridad**. Estos niveles se deben lograr, sin dilución, al menos el 95% 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.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** 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 medio ambiente, salud y seguridad para energía térmica contienen disposiciones sobre las emisiones generadas por una fuente de energía más grande. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona orientación sobre cuestiones ambientales teniendo en cuenta la carga total de emisiones.

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 medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

Cuadro 1. Guías sobre emisiones a la atmósfera para las plantas de fertilizantes de fosfato		
Contaminante	Unidades	Valor indicativo
Plantas de ácido fosfórico		
Fluoruros (gaseosos) como HF	mg/Nm ³	5
Material particulado	mg/Nm ³	50
Plantas de fertilizantes de fosfato		
Fluoruros (gaseosos) como HF	mg/Nm ³	5
Material particulado	mg/Nm ³	50
Amoniaco	mg/Nm ³	50
HCl	mg/Nm ³	30
NO _x	mg/Nm ³	500 unidad de nitrofosfato 70 unidad de ácido mixto

Cuadro 2. Guías sobre efluentes para las plantas de fertilizantes de fosfato		
Contaminante	Unidades	Valor indicativo
pH	S.U.	6-9
Fósforo total	mg/L	5
Fluoruros	mg/L	20
	kg/ton NPK	0,03
	kg/ton Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	2
SST	mg/L	50
Cadmio	mg/L	0,1
Nitrógeno total	mg/L	15
Amoniaco	mg/L	10
Total de metales	mg/L	10

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

El Cuadro 3 contiene ejemplos de indicadores de consumo de recursos de energía y agua para el sector. El Cuadro 4 contiene ejemplos sobre indicadores de generación de emisiones y residuos. 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.

Cuadro 3. Consumo de recursos y energía

Producto	Unidad	Valor de referencia de la industria
Ácido fosfórico	Tonelada de roca fosfórica /ton P ₂ O ₅	2,6-3,5 ⁽¹⁾
	Ton H ₂ SO ₄ /ton P ₂ O ₅	2,1-2,3 ⁽¹⁾
	KWh/ton P ₂ O ₅	120-180 ⁽¹⁾
	m ³ agua de refrigeración /ton P ₂ O ₅	100-150 ⁽¹⁾
NPK A	KWh/ton NPK	30-33 ⁽¹⁾⁽²⁾
	Energía total para secar MJ/ton NPK	300-320 ⁽¹⁾⁽²⁾
NPK B	KWh/ton NPK	50 ⁽¹⁾⁽²⁾
	Energía total para secar MJ/ton NPK	450 ⁽¹⁾⁽²⁾
NPK C	KWh/ton NPK	50-109 ⁽²⁾
NPK C	m ³ agua de refrigeración /ton NPK	17 ⁽²⁾
NPK C	Ton CO ₂ requerido/ton P ₂ O ₅	1 ⁽¹⁾⁽²⁾
SSP	KWh/ton SSP	19-34 ⁽²⁾
SSP	m ³ agua/ton SSP	0,1-2 ⁽²⁾
Notas:		
PLANTAS NPK A Granulación con un reactor tubular y tambor con amoniación		
PLANTAS NPK B Proceso de ácidos mixtos		
PLANTAS NPK C Proceso de nitrofosfato		
1. Asociación Europea de Fabricantes de Fertilizantes (EFMA), 2000.		
2. UE IPPC - Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles en en la industria química orgánica de gran volumen de producción – amoníaco, ácidos y fertilizantes. Diciembre de 2006		

Cuadro 4. Generación de emisiones, efluentes y residuos

Parámetro	Unidad	Valor de referencia de la industria
Plantas de ácido fosfórico		
Fluoruro SO ₂	mg/Nm ³ kg/ton HF	5-300.001 – 0,01
Generación de residuos sólidos (yeso fosfatado) (proceso térmico/húmedo)	ton/ton P ₂ O ₅	3,2/4-5 ⁽¹⁾
Producción de NPK – Proceso de nitrofosfato		
Emisiones a la atmósfera de NH ₃	kg/ton P ₂ O ₅	0,2
Emisiones a la atmósfera de NO _x (como NO ₂)	kg/ton P ₂ O ₅	1,0
Emisiones a la atmósfera de fluoruro	kg/ton P ₂ O ₅	0,01
Efluentes totales de nitrógeno	kg/ton P ₂ O ₅	0,001 – 0,01
Efluentes de P ₂ O ₅	kg/ton P ₂ O ₅	1,2
Efluentes de fluoruros	kg/ton P ₂ O ₅	0,7
Producción de NPK – Proceso de ácidos mixtos		
Emisiones de NH ₃	kg/ton NPK	0,2
Emisiones de NO _x (como NO ₂)	kg/ton NPK	0,3
Emisiones de fluoruros	kg/ton NPK	0,02
Emisiones de polvo	kg/ton NPK	0,2
Efluentes totales de nitrógeno	kg/ton NPK	0,2
Efluentes de fluoruros	kg/ton NPK	0,03
Emisiones a la atmósfera de fluoruros	mg/Nm ³	0,4-4
Emisiones a la atmósfera de polvo	mg/Nm ³	30-50
Emisiones a la atmósfera de cloruro	mg/Nm ³	19-20

2.2 Desempeño de la higiene y la 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)¹⁹, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)²⁰, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)²¹, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea²² 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)²³.

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 acreditados²⁴ 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 medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

¹⁹ Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>.

²⁰ Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

²¹ Disponibles en: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

²² Disponibles en: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/.

²³ Disponibles en: <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

²⁴ Los profesionales acreditados pueden incluir a higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1995. Oficina de Cumplimiento. Sector Notebook Project. Profile of the Inorganic Chemical Industry. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/inorganic.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart T—Standards of Performance for the Fertilizantes de fosfato Industry: Wet-Process Phosphoric Acid Plants. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-1.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart W—Standards of Performance for the Fertilizantes de fosfato Industry: Triple Superfosfato Plants. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-1.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 63, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories: Subpart AA—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Phosphoric Acid Manufacturing Plants. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-1.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418 Fertilizer Manufacturing Point Source Category. Subpart A—Phosphate Subcategory. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-1.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 418 Fertilizer Manufacturing Point Source Category. Subpart G—Mixed and Blend Fertilizer Production Subcategory. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-1.info/>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 422 Phosphate Manufacturing Point Source Category. Washington, DC: US EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/epacr40/chapt-1.info/>

Agencia de Protección Ambiental del Reino Unido. 2002. Sector Guidance Note Integrated Pollution Prevention and Control (IIPC) S4.03. Guidance for the Inorganic Chemicals Sector. Bristol: Environment Agency. Disponible en: <http://www.environment-agency.gov.uk/business/444304/1290036/1290086/1290209/1308462/1245952/>

Asociación Internacional de Fabricantes de Fertilizantes (IFA) / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) / Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). 1998. The Fertilizer Industry's Manufacturing Processes and Environmental Issues. (Technical Report No. 26, Part 1). Paris: IFA/PNUMA/ONUDI.

Comisión Europea. 2006. Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB). Documento de referencia sobre mejores prácticas disponibles en la industria química orgánica de gran volumen de producción— amoniaco, ácidos y fertilizantes. Sevilla: EIPPCB. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

EFMA (Asociación Europea de Fabricantes de Fertilizantes). 2000a. Best Available Techniques (BAT) Production of Phosphoric Acid (Booklet No. 4). Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/Publications/>

EFMA. 2000b. BAT Production of NPK Fertilizers by the Nitrofosfato Route (Booklet No. 7). Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/Publications/>

EFMA. 2000c. BAT Production of NPK Fertilizers by the Mixed Acid Route (Booklet No. 8). Bruselas: EFMA. Disponible en: <http://www.efma.org/Publications/>

EFMA y Asociación Internacional de Fabricantes de Fertilizantes (IFA). 1992. Handbook for the Safe Storage of Nitrato de amonio Based Fertilizers. Zurich/Paris: EFMA/IFA. Disponible en: <http://www.efma.org/publications/>

Ministerio Federal para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear de Alemania (BMU). 2004. Waste Water Ordinance – AbwV. (Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters). Promulgation of the New Version of the Waste Water Ordinance of 17 June 2004. Berlin: BMU. Disponible en: http://www.bmu.de/english/water_management/downloads/doc/3381.php

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

Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

Los complejos modernos de fabricación de fertilizantes de fosfato se caracterizan por una producción de gran volumen y suelen estar altamente integrados en la producción aguas arriba (por ejemplo, amoníaco y ácidos nítrico, sulfúrico y fosfórico) y aguas abajo (por ejemplo nitrato de amonio y nitrato de amonio cálcico) con el fin de optimizar los costos de producción, la logística, la seguridad y la protección ambiental (Gráfico A.1). Las plantas de fertilizantes de fosfato pueden producir superfosfato simple (o normal) (SSP) y superfosfato triple (TSP); fertilizantes mixtos como el fosfato monoamónico (MAP) y el fosfato amónico (DAP); y fertilizantes compuestos de todas las calidades (NPK) empleando el método de nitrofosfato / ácido nítrico y el de ácidos mixtos / ácido sulfúrico. Las instalaciones suelen estar equipadas con una red integrada de distribución de vapor y electricidad que abastece a todas las plantas, alimentada por una caldera central de vapor y una central eléctrica. Normalmente cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales.

Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico (H_2SO_4) se utiliza en la industria de los fertilizantes de fosfato para producir ácido fosfórico. El ácido sulfúrico se obtiene a partir del dióxido de azufre (SO_2) producido mediante la combustión de azufre elemental. La oxidación exotérmica del dióxido de azufre en las distintas capas de catalizadores adecuados (es decir, pentóxido de vanadio) para producir trióxido de azufre (SO_3) es el proceso empleado en la actualidad por la mayoría de las plantas de fabricación de ácido sulfúrico²⁵. El ácido sulfúrico se obtiene a partir de la absorción de SO_3 y agua en H_2SO_4 (con una concentración mínima del 98 por ciento) en absorbedores

instalados después de múltiples capas de catalizador. El ácido caliente producido se mezcla con aire en una columna o torre para recoger el SO_2 que queda en el ácido. El aire cargado de SO_2 se devuelve al proceso.

Ácido fosfórico

El ácido fosfórico (H_3PO_4) se utiliza principalmente en la fabricación de sales de fosfato (por ejemplo fertilizantes y suplementos de alimentos para consumo animal). Pueden emplearse dos procesos distintos para fabricar ácido fosfórico. En el primero, conocido como proceso térmico, el fósforo elemental se produce a partir de la roca fosfórica, el coque y el sílice en un horno de resistencia eléctrica y se oxida e hidrata para formar el ácido. El ácido generado mediante el proceso térmico es notablemente puro, aunque también caro, y por lo tanto se produce en pequeñas cantidades, sobre todo para la fabricación de fosfatos industriales.

El segundo tipo de proceso, conocido como proceso húmedo, implica la digestión de rocas fosfóricas con un ácido (por ejemplo ácido sulfúrico, nítrico o clorhídrico). El fosfato tricálcico obtenido a partir de la roca fosfórica reacciona al ácido sulfúrico concentrado para producir ácido fosfórico y sulfato de calcio, que es una sal no soluble. Las condiciones operativas permiten precipitar el sulfato de calcio en anhidrita, dihidratado (DH) o hemihidratado (HH).

Los distintos procesos son necesarios debido a la existencia de diferentes sistemas de eliminación de las rocas fosfóricas y el yeso²⁶. Las principales fases de producción incluyen la trituración de la roca fosfórica (cuando corresponda); la reacción con ácido sulfúrico en una serie de reactores agitados separados a 70-80°C de temperatura, la filtración para separar el ácido fosfórico del sulfato de calcio; y la concentración hasta

²⁵ IPCC BREF (2006).

²⁶ EIPPCB BREF (2006) y EFMA (2000a).

obtener un ácido fosfórico comercial con una concentración del 52-54 por ciento de pentóxido de fósforo (P_2O_5).

Cuando la planta de ácido fosfórico está vinculada a otra de ácido sulfúrico, el vapor a alta presión producido en la caldera de recuperación de calor residual del ácido sulfúrico se utiliza normalmente para producir electricidad, y el vapor de escape de baja presión se utiliza para la concentración en vacío de ácido fosfórico. El consumo de vapor necesario para la concentración puede reducirse utilizando calor residual originado en la planta de ácido sulfúrico. Este calor puede recuperarse como agua caliente y usarse en el proceso de concentración del ácido débil para la concentración intermedia. El ácido fosfórico suele almacenarse en tanques de acero revestidos de caucho, aunque también se emplean los de acero inoxidable, poliéster y hormigón revestido de polietileno. Los tanques de almacenamiento suelen equiparse con medios para mantener los sólidos en suspensión y evitar la costosa limpieza de los tanques²⁷.

Fertilizantes de fosfato (SSP / TSP)

Los fertilizantes de fosfato se producen añadiendo ácido a la roca fosfórica triturada o pulverizada. Cuando se utiliza ácido sulfúrico, se produce superfosfato simple o normal (SSP) con un contenido en fósforo de entre el 16 y el 21 por ciento como pentóxido de fósforo (P_2O_5). La producción de SSP implica mezclar el ácido sulfúrico y la roca fosfórica en un reactor. La mezcla de reacción se descarga en una cinta transportadora lenta. Cuando la mezcla se suministra directamente en el granulador, el proceso se denomina granulación "directa". Durante la granulación "indirecta", la mezcla de reacción se

almacena para "curarse" durante 4-6 semanas antes del embolsado y luego se granula²⁸.

Cuando se utiliza ácido fosfórico para acidular la roca fosfórica, se produce superfosfato triple (TSP) con un contenido en fósforo del 43-48 por ciento como P_2O_5 . Para producir fertilizantes de TSP se utilizan dos procesos: el proceso de producción de fosfato no granular y la granulación. El proceso no granular es similar al proceso de SSP. El TSP granular emplea ácido fosfórico de baja potencia (del 40 por ciento, frente a un 50 por ciento con el método no granular). La mezcla de reacción, un lodo, se pulveriza en las partículas finas del fertilizante reciclado en un granulador. Los gránulos crecen y luego se descargan en un secador, se tamizan y se envían para su almacenamiento²⁹.

Fertilizantes compuestos (NPK)

Los fertilizantes compuestos constituyen un amplio grupo de productos que varían en función de los coeficientes específicos de nitrógeno / fósforo / potasio (N/P/K). Los procesos de producción también son numerosos y los tipos de producto incluyen PK, NP (por ejemplo DAP), NK y NPK. Para ello se pueden emplear dos métodos distintos, es decir, la producción mediante nitrofosfato y la producción mediante ácidos mixtos.

Método de nitrofosfato

El proceso integrado de nitrofosfato (NP) produce fertilizantes compuestos (NPK) que contienen nitrato de amonio, fosfato y sales de potasio (Gráfico A.2). El proceso integrado se inicia con la disolución de la roca fosfórica en ácido nítrico. Pueden emitirse cantidades variables de compuestos volátiles como el dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y fluoruro de hidrógeno (HF) en función de las características de la roca fosfórica. La solución de digestión resultante contiene distintas

²⁷ EFMA (2000a).

²⁸ EIPPCB BREF (2006).

²⁹ EIPPCB BREF (2006).

cantidades de sólidos en suspensión (por ejemplo arena de cuarzo) eliminadas mediante colectores centrífugos, hidrociclones o separadores lamelares³⁰. Una vez lavados, los sólidos pueden reutilizarse en la industria de la construcción.

El licor obtenido en este proceso contiene iones de calcio en una proporción demasiado elevada como para garantizar la producción de P_2O_5 . Por consiguiente, la solución se enfría para cristalizar el tetrahidrato de nitrato cálcico (CNTH). La solución de ácido fosfórico, el nitrato cálcico restante y el ácido nítrico, llamado ácido nitrofosfórico, puede separarse de los cristales de CNTH mediante filtración. El ácido nitrofosfórico se neutraliza a continuación con amoníaco, se mezcla con sales de potasio / magnesio, sulfato y /o micronutrientes, y se convierte en NPK en un tambor giratorio de granulación, lecho fluidizado, torre de perlado o galletera para obtener fertilizantes compuestos sólidos³¹.

Los cristales separados de nitrato cálcico se disuelven en una solución de nitrato de amonio y se tratan con una solución de carbonato amónico. Esta solución se filtra para extraer los cristales de carbonato cálcico y se emplea para producir fertilizante granular de nitrato de amonio cálcico (CAN). La solución diluida resultante de nitrato de amonio se concentra y también se emplea para producir CAN o NPK. La solución de nitrato cálcico también puede neutralizarse y evaporarse para obtener un fertilizante sólido³².

Normalmente se utilizan tres tipos de procesos para producir fertilizantes NPK a partir del licor de NP, a saber, perlado, tambor o galletera y granulación con esferodizador. Durante el perlado, el licor de NP, mezclado con las sales requeridas y con el producto reciclado, se desborda de un cubo giratorio de

gránulos de donde se pulverizan los lodos en la torre de gránulos. Los ventiladores situados en la parte superior de la torre hacen que el aire ambiente fluya a contracorriente hasta las gotas formadas mediante la solidificación³³.

Durante la granulación en tambor o galletera, el licor de NP, junto con las sales requeridas y los productos reciclados, se pulveriza en un granulador de tambor giratorio donde los gránulos formados se secan en un tambor giratorio de secado con aire caliente. El aire que sale de los tambores contiene vapor de agua, polvo, amoníaco y gases de combustión. El aire procedente de los tambores de granulación y secado se trata en ciclones de alto rendimiento³⁴.

En la granulación por esferodizador, los lodos se pulverizan en un tambor giratorio especial llamado esferodizador donde el aire caliente, caldeado a temperaturas de 300-400°C, fluye a contracorriente, evaporando así el agua acumulada en los gránulos³⁵.

En todos los procesos se criban los gránulos secos de NPK. La fracción del tamaño deseado pasa al proceso de acondicionamiento, y las fracciones de tamaño superior se retiran, Trituran y reciclan junto con las fracciones de tamaño inferior. Se extrae el polvo de las descargas del tamiz, la trituradora y el transportador empleando el aire necesario para la granulación. El producto comercial procedente del secado y el cribado se enfría en un lecho fluidizado, un recuperador de calor de flujo neto global o un tambor giratorio. Por medio de ciclones se extrae el polvo de los gases emitidos durante estas fases posteriores contienen cantidades mínimas de polvo y normalmente nada de amoníaco. Por último, el producto se enfría y se recubre antes de almacenarse para minimizar la

³⁰ EFMA (2000b).

³¹ Ibid.

³² Ibid.

³³ Ibid.

³⁴ Ibid.

³⁵ Ibid.

aglomeración subsiguiente del material. El revestimiento consiste en un tratamiento con un agente orgánico y polvo inorgánico que se añaden a un tambor. Los cristales de nitrato cálcico derivados del proceso de nitrofosfato pueden procesarse para obtener un fertilizante sólido de nitrato cálcico(CN) empleando la tecnología de perlado o pan-granulación, como alternativa a la combinación de la conversión del CNTH y el procesamiento subsiguiente en CAN³⁶.

Método de ácidos mixtos

Los procesos aplicados en el método de producción por medio de ácidos mixtos son numerosos, siendo los más habituales la granulación con un sistema de reactor tubular; la granulación de tambor con amoniación; y un proceso de ácidos mixtos con digestión de roca fosfórica³⁷. El Gráfico A.3. muestra un diagrama de flujos simplificado de los tres procesos juntos.

La granulación con un sistema de reactor tubular consiste en un circuito clásico de granulación con uno o dos reactores tubulares. Un reactor tubular se ajusta al granulador y otro se puede emplear en el secador. El ácido fosfórico o la mezcla de ácidos fosfórico y sulfúrico se neutraliza en los reactores tubulares con amoníaco gaseoso o líquido. Puede producirse una amplia gama de calidades, incluidos fosfatos amónicos (fosfato monoamónico – MAP y fosfato diamónico – DAP)³⁸. Las materias primas sólidas requeridas, como el cloruro de potasio, el sulfato de potasio, el superfosfato, nutrientes secundarios, micronutrientes y relleno se suministran al granulador junto con el material reciclado. El reactor tubular acoplado al granulador está diseñado para recibir ácido fosfórico, una parte de amoníaco y todos los suministros líquidos restantes, como por ejemplo el ácido sulfúrico y el agua de depuración reciclada. La solución concentrada de nitrato de amonio puede añadirse

directamente en el granulador y la tasa de amoniación en el reactor tubular variará en función del producto. Podrá proseguirse con la amoniación en el granulador. Se suministra ácido fosfórico y amoníaco a un reactor tubular acoplado al secador.

La granulación de tambor con amoniación consiste en un circuito clásico de granulación que emplea principalmente materias primas sólidas. La solución y / o vapor de nitrato de amonio se suministra al granulador. El proceso es muy flexible y capaz de producir un amplio espectro de calidades, incluidos productos con bajo contenido en nitrógeno. La solución de nitrato de amonio se pulveriza directamente en el granulador, pudiendo suministrarse ácido sulfúrico al granulador seguido de la amoniación³⁹. Los gránulos obtenidos en ambos procesos de granulación se secan en una sección de secado empleando vapor de aire caliente⁴⁰. Los gránulos secos se manejan tal y como se describe para el método de NP.

Los gases procedentes del granulador y del secador se lavan en lavadores venturi que recirculan la solución de fosfato de amoníaco o de sulfo-fosfato de amonio. El agua de lavado reciclada se suministra al reactor tubular en el granulador. Por último, la descarga de los gases lavados se realiza por medio de columnas ciclónicas irrigadas con una solución ácida. Se extrae el polvo de los gases procedentes del secador en ciclones de alta eficacia, eliminando así la mayor parte del polvo antes de la depuración. El aire procedente de los equipos de enfriamiento se recicla por lo general como aire secundario para el secador después de extraer el polvo⁴¹.

El proceso de ácidos mixtos con digestión de roca fosfórica es muy flexible y produce calidades de distinto grado en cuanto a

³⁶ EFMA (2000b).

³⁷ EFMA (2000c).

³⁸ Ibid.

³⁹ EFMA (2000c).

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ Ibid.

hidrosolubilidad del fosfato. El primer paso en el proceso es la digestión exotérmica de la roca fosfórica con ácido nítrico, lo que resulta en una solución de ácido fosfórico y nitrato de calcio. Los gases ácidos, como los óxidos de nitrógeno y los compuestos de flúor, se forman durante la digestión en función del tipo de roca fosfórica empleado. Otras materias primas, como por ejemplo ácido fosfórico, sulfúrico y nítrico o una solución de AN, se añaden una vez completada la digestión. Los lodos ácidos se tratan con amoníaco gaseoso y después de la neutralización, y se añaden otros componentes como, por ejemplo, fosfatos de amonio, superfosfatos, sulfato de amonio y compuestos que contengan potasio y magnesio. La mayor parte de estos materiales también puede añadirse antes o durante la neutralización, pero cuando las materias primas contengan cloruro, el pH del lodo deberá situarse entre 5 y 6 para evitar la producción de cloruro de hidrógeno. La batería del reactor acaba con un tanque de compensación. La granulación de los lodos puede realizarse a continuación empleando distintos equipos, como por ejemplo el tambor, el agitador diluidor y el esferodizador⁴².

Los gases procedentes de los reactores de digestión, donde la roca fosfórica se digiere con ácido nítrico, se tratan por separado en un depurador de torre de pulverización para recuperar el NO_x y los compuestos de flúor. El pH puede ajustarse añadiendo amoníaco. Los gases del reactor de amoniación se depuran en distintas fases de depuración a contracorriente. El pH se ajusta al valor más eficaz para la depuración, pH 3-4, con una mezcla de HNO_3 y/o H_2SO_4 . La primera fase de depuración garantiza la saturación de los gases; la segunda, con un venturi de alta presión, está diseñada para eliminar los aerosoles. Las fases posteriores aumentan la eficacia de la recuperación y la fase final opera con el líquido de depuración más limpio. Un separador de gotículas

se instala en la pila o inmediatamente antes de la misma. Los gases procedentes del secador (granulador / secador) se circulan a través de ciclones antes de acceder al depurador. El lavador es un venturi de tragante ajustable con depuración subsiguiente en dos fases. La última fase se operará empleando el líquido más limpio. Después de circular, una parte del licor utilizado llega hasta un decantador para llevar a cabo la separación de sólidos. La parte más gruesa se suministra a los reactores⁴³.

⁴² Ibid.

⁴³ EFMA (2000c).

Gráfico A.1: Plantas integradas de fertilizantes de fosfato





