

77

Directores del capítulo
*Jeanne Mager Stellman y
 Michael McCann*

Sumario

Industria química	
<i>L. De Boer</i>	77.2
Elaboración de un programa de gestión de seguridad de procesos	
<i>Richard S. Kraus</i>	77.3
Operaciones y actividades principales de las unidades de proceso: visión general	
<i>Sydney Lipton</i>	77.9
<hr/>	
EJEMPLOS DE OPERACIONES DE TRATAMIENTO DE PRODUCTOS QUIMICOS	
Producción de cloro y cáusticos	
<i>The Chlorine Institute, Inc.</i>	77.20
Fabricación de pinturas y revestimientos	
<i>Michael McCann</i>	77.22
Industria del plástico	
<i>P.K. Law y T.J. Britton</i>	77.25
Industria de la biotecnología	
<i>Susan B. Lee y Linda B. Wolfe</i>	77.32
Industria pirotécnica	
<i>J. Kroeger</i>	77.38

● INDUSTRIA QUIMICA

L. De Boer*

La industria química se ocupa de cambiar la estructura química de los materiales naturales con el fin de obtener productos útiles para otras industrias o para la vida cotidiana. Los productos químicos se obtienen a partir del procesamiento, en una serie de etapas, de esas materias primas (minerales, metales e hidrocarburos, sobre todo), que suelen requerir tratamientos ulteriores, como el mezclado, para conseguir el producto final (p. ej., pinturas, adhesivos, medicamentos y cosméticos). Así pues, la industria química no se limita exclusivamente a los denominados "productos químicos", sino que abarca otros productos, como las fibras artificiales, las resinas, los jabones, las pinturas, las películas fotográficas y otros.

Hay dos tipos principales de productos químicos: *orgánicos* e *inorgánicos*. Los primeros tienen una estructura básica de átomos de carbono, a la que se añaden hidrógeno y otros elementos. Actualmente, las fuentes del 90 % de la producción mundial de productos químicos orgánicos son el petróleo y el gas, que han sustituido, con diferencia, al carbón y las sustancias vegetales y animales, anteriores materias primas. Los productos químicos inorgánicos proceden principalmente de fuentes minerales. Algunos ejemplos son el azufre, que se extrae como tal o de otros minerales, y el cloro, que se obtiene de la sal común.

Los productos de la industria química se clasifican, a grandes rasgos, en tres grupos, que corresponden a las principales etapas de fabricación: *productos químicos básicos* (orgánicos e inorgánicos), producidos normalmente a gran escala y convertidos en otros productos químicos; *productos intermedios*, obtenidos a partir de los productos químicos básicos, en su mayoría requieren un tratamiento posterior en la industria química, aunque algunos, como los disolventes, se utilizan sin procesar; y *productos químicos terminados*, que requieren tratamientos químicos ulteriores. Algunos de ellos (fármacos, cosméticos, jabones) se consumen tal cual; otros, como las fibras, los plásticos, los colorantes y los pigmentos deben someterse aún a otros tratamientos.

Los principales sectores de la industria química son los siguientes:

1. productos inorgánicos básicos: ácidos, álcalis y sales, utilizados sobre todo en otros sectores industriales, y gases industriales, como el oxígeno, el nitrógeno y el acetileno;
2. productos orgánicos básicos: materias primas para plásticos, resinas, cauchos sintéticos y fibras sintéticas; disolventes y materias primas de detergentes; colorantes y pigmentos;
3. fertilizantes y plaguicidas (incluidos herbicidas, fungicidas e insecticidas);
4. plásticos, resinas, cauchos sintéticos, fibras sintéticas y celulósicas;
5. productos farmacéuticos (fármacos y medicamentos);
6. pinturas, barnices y lacas;
7. jabones, detergentes, productos limpiadores, perfumes, cosméticos y otros productos de perfumería;
8. productos químicos diversos, como líquidos para abrillantar, explosivos, adhesivos, tintas, películas fotográficas y productos para revelado.

En la CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas), sistema utilizado por las Naciones Unidas para clasificar las actividades económicas en diez grupos principales, la industria química figura como División 35, una de las nueve subdivisiones de la División principal 3: Fabricación. La división 35 comprende a su vez

*Adaptado de la tercera edición, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*

productos químicos industriales (351), otros productos químicos (352), refinerías de petróleo (353), productos diversos derivados del carbón y del petróleo, por ejemplo el asfalto (354), productos de caucho, incluidos los neumáticos (355) y tratamiento de plásticos (356).

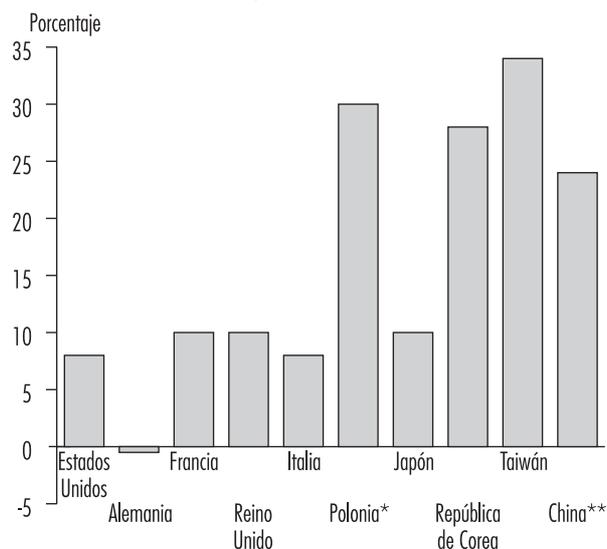
Cada país suele seguir su propio sistema de clasificación al elaborar las estadísticas de la industria química, lo que puede crear cierta confusión. Por esta razón, la comparación entre los distintos países en cuanto a la actividad de la industria química no puede basarse en fuentes nacionales. En todo caso, los organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y las Naciones Unidas, ofrecen datos basados en la CIU, aunque con un retraso de aproximadamente dos años.

Las estadísticas comerciales del sector se publican a nivel internacional a través de la CUCI (Clasificación Uniforme para el Comercio Internacional), que difiere del sistema CIU; las de cada país se refieren casi siempre a la sección 5 de la CUCI, que comprende aproximadamente el 90 % de todos los productos químicos existentes en el sistema de CIU.

En la última mitad del siglo, la industria química ha crecido con mucha más rapidez que el resto del sector privado en conjunto. Aunque a principios del decenio de 1990 se produjo una crisis económica en el sector químico, mediado el decenio la producción aumentó, sobre todo en el sureste asiático. En la Figura 77.1 se muestra el cambio porcentual de la producción química de algunos países en el período 1992-1995.

En la mayor parte de la industria química el capital está muy concentrado y depende en gran medida de la investigación y el desarrollo (por ejemplo, los productos farmacéuticos). Como resultado de ambos factores, es un sector donde el número de trabajadores manuales sin cualificar es sorprendentemente bajo para su tamaño, en comparación con la industria manufacturera en general. El empleo total en la industria aumentó ligeramente durante el período de crecimiento rápido anterior a 1970, pero desde entonces, el aumento de la productividad ha provocado

Figura 77.1 • Cambio en la producción química de algunos países, 1992-1995.



* 1993-95

** Basado en productos individuales, sin datos sobre compuestos

Fuente: *Chemical and Engineering News* 1996.

Tabla 77.1 • Número de trabajadores de la industria química en algunos países (1995).

País	Número de empleados
Estados Unidos	1.045.000
Alemania	538.000
Francia	248.000
Reino Unido	236.000
Italia	191.000
Polonia	140.000
España	122.000

Fuente: *Chemical and Engineering News* 1996.

un descenso en el empleo en la industria química de los países más desarrollados. En la Tabla 77.1 se ofrecen las cifras de empleo en este sector en Estados Unidos y en varios países europeos durante 1995.

● ELABORACION DE UN PROGRAMA DE GESTION DE SEGURIDAD DE PROCESOS

Richard S. Kraus

Siempre que existan procesos en los que se utilicen la temperatura y la presión para modificar la estructura molecular o crear nuevos productos a partir de productos químicos, existe la posibilidad de incendio, explosión o emisión de líquidos, vapores, gases u otros productos químicos intermedios tóxicos e inflamables. El control de estos sucesos no deseados requiere la aplicación de una ciencia especial llamada *gestión de seguridad de procesos*. Se utilizan los términos *seguridad de procesos* y *gestión de seguridad de procesos* para referirse a la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente contra las consecuencias de incidentes indeseables graves en los que intervienen líquidos inflamables y materiales muy peligrosos. Según la Chemical Manufacturers Association (CMA) de Estados Unidos, "la seguridad de los procesos es el control de los riesgos causados por errores en la operación o en el funcionamiento de los procesos aplicados para transformar materias primas en productos terminados, que puede provocar la emisión imprevista de materiales peligrosos" (CMA 1985).

En la identificación y evaluación sistemática de los riesgos deben considerarse el diseño y la tecnología del proceso, los cambios en el mismo, los materiales y los cambios en los materiales, los procedimientos y las prácticas de operación y de mantenimiento, la formación, la preparación ante emergencias y otros elementos que afectan al proceso, con el fin de determinar si tienen o no el potencial de provocar una catástrofe en el lugar de trabajo y en la comunidad circundante.

Desde principios del decenio de 1980 ocurrieron una serie de accidentes muy graves en las industrias químicas y del petróleo, en los que intervinieron materiales muy peligrosos, que causaron un gran número de víctimas mortales y heridos, así como cuantiosas pérdidas materiales. Los accidentes sirvieron como impulso para que los organismos oficiales, los sindicatos y las asociaciones privadas de todo el mundo elaboraran y aplicaran códigos, reglamentos, procedimientos y prácticas de trabajo seguras, encaminados a eliminar o mitigar estos acontecimientos

indeseables mediante la aplicación de los principios de gestión de seguridad de procesos. De ello se trata en profundidad en *Desastres naturales y tecnológicos* y en otros capítulos de esta *Enciclopedia*.

En respuesta a la preocupación pública sobre los peligros potenciales de los productos químicos, los gobiernos y las instituciones legislativas de todo el mundo iniciaron programas que exigían a los fabricantes y los usuarios la identificación de los materiales peligrosos en el lugar de trabajo, y la información a los empleados y consumidores de los peligros que entrañan su fabricación, uso, almacenamiento y manipulación. Estos programas, que abarcaban la preparación y la respuesta en casos de emergencia, el reconocimiento de los riesgos, el conocimiento de los productos, el control de los productos químicos peligrosos y la notificación de las emisiones tóxicas, incluían el procesamiento de hidrocarburos.

Requisitos para la gestión de la seguridad de procesos

La gestión de la seguridad de los procesos forma parte del programa general de seguridad de las instalaciones de procesos de productos químicos. Un programa eficaz de gestión de seguridad de procesos requiere el liderazgo, el apoyo y la participación activa de los directivos, los gestores de las instalaciones, los supervisores, los trabajadores, los contratistas y los empleados de éstos últimos.

Al desarrollar un programa de gestión de seguridad de procesos deben considerarse los aspectos siguientes:

- *Continuidad interdependiente de operaciones, sistemas y organización*
- *Gestión de la información.* El programa de gestión de seguridad de procesos se basa en proporcionar disponibilidad y acceso a buenos registros y documentos.
- *Control de la calidad del proceso, desviaciones y excepciones y métodos alternativos*
- *Accesibilidad a los directores y supervisores, y comunicación.* Debido a que la gestión de la seguridad de los procesos es la base de todos los esfuerzos para la seguridad en la instalación, para que el programa funcione se deben delimitar con claridad, comunicar y comprender las responsabilidades y competencias de los gestores, supervisores y trabajadores.
- *Fines y objetivos, auditorías de cumplimiento y medición de los resultados.* Antes de su aplicación es importante establecer fines y objetivos a corto y largo plazo para cada uno de los elementos del programa de gestión de seguridad de procesos.

Elementos del programa de gestión de la seguridad de procesos

Todos los programas de gestión de seguridad de procesos de la instalación abarcan los mismos requisitos básicos, aunque el número de elementos del programa varía en función de los criterios utilizados. Con independencia de que se utilice como guía un documento gubernamental, de una empresa o de una asociación, todo programa de gestión de seguridad de procesos químicos debe incluir unos requisitos básicos:

- información sobre seguridad de los procesos;
- participación de los trabajadores;
- análisis de los riesgos del proceso;
- gestión de los cambios;
- procedimientos de trabajo;
- prácticas de trabajo seguras y autorizaciones;
- información y formación de los trabajadores;
- personal del contratista;
- revisiones de seguridad antes de la puesta en marcha;
- garantía de calidad del diseño;
- mantenimiento e integridad mecánica;

La industria y la seguridad de los procesos de trabajo

La tecnología de la seguridad de los procesos ha desempeñado un papel muy importante en las industrias de proceso químico, de forma que se pueden manipular líquidos inflamables y combustibles sin consecuencias adversas. Durante el decenio de 1980, las industrias del petróleo, por ejemplo, reconocieron que la tecnología de la seguridad de los procesos por sí sola, sin una gestión de la seguridad, no era válida para prevenir incidentes catastróficos. Habida cuenta de ello, varias asociaciones industriales, como el Center for Chemical Process Safety (CCPS), el American Petroleum Institute (API) y el Chemical Manufacturers' Association (CMA), todos ellos en Estados Unidos, iniciaron programas para elaborar y proporcionar normas de gestión de la seguridad de los procesos a sus miembros. Como ha establecido la CCPS, "la evolución de la seguridad de los procesos desde un aspecto puramente técnico a otro que exige planteamientos de gestión era esencial para la mejora continua de la seguridad de los procesos".

La CCPS se fundó en 1985 para promover la mejora de las técnicas de gestión de seguridad de los procesos entre aquellas que almacenan, manipulan, procesan y utilizan productos y sustancias químicas peligrosas. En 1988, la Chemical Manufacturer's Association (CMA) inició su programa *Responsible Care*® que destaca el compromiso de cada compañía miembro con respecto a sus responsabilidades con el medio ambiente, la salud y la seguridad en la manipulación de productos químicos.

En 1990, la API inició un programa industrial titulado *STEP-Strategies for Today's Environmental Partnership*, cuya intención era mejorar las repercusiones sobre el medio ambiente, la salud y la seguridad de la industria del petróleo y del gas. Uno de los siete elementos estratégicos del programa STEP cubre la seguridad de los procesos y operaciones con petróleo. Los documentos siguientes son ejemplos de algunos de los materiales desarrollados como resultado del programa STEP, que proporcionan normas para la industria del petróleo y del gas con objeto de prevenir la aparición o minimizar las consecuencias de emisiones catastróficas de líquidos inflamables y vapores o sustancias peligrosas de los procesos.

- *Management of Process Hazards* (RP 750)
RP 750 cubre la gestión de los riesgos de los procesos con hidrocarburos en el diseño, la construcción, la puesta en marcha, las operaciones, la inspección, el mantenimiento y las modificaciones de las instalaciones. Se aplica específicamente a refinerías, plantas de petróleo e instalaciones principales de proceso que utilizan, producen, manipulan o almacenan líquidos inflamables y productos químicos tóxicos en cantidades superiores a ciertas cantidades peligrosas (como se han definido).
- *Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Buildings* (RP 752)
RP 752, desarrollado conjuntamente por API y CMA, pretende ayudar a identificar los edificios de interés de las plantas de procesado, a comprender los riesgos potenciales relacionados con su situación en la instalación de proceso y a gestionar el riesgo de incendio, explosión y emisiones tóxicas.
- *Management Practices, Self-assessment Process, and Resource Materials* (RP 9000)
RP 9000 proporciona recursos y métodos de autoevaluación para medir el progreso en la aplicación de elementos de gestión de seguridad de procesos.

Otros ejemplos de organizaciones que han desarrollado materiales y programas con directrices que abarcan la gestión de la seguridad de los procesos químicos son:

- Informe de Organizations Resource Counselors' (ORC), *Process Hazards Management of Substances with Catastrophic Potential*
- Programa National Petroleum Refiners Association (NPRA), *BEST (Building Environmental Stewardship Tools)*
- Organización Internacional del Trabajo (ILO), *Convenio sobre la prevención de accidentes industriales mayores*
- Cámara de Comercio Internacional (CCI), *Charter for Sustainable Development*.

- respuesta ante emergencias;
- auditorías de seguridad periódicas;
- investigación de los incidentes durante el proceso;
- normas y reglamentos,
- secretos comerciales.

Información sobre seguridad de los procesos

La información sobre seguridad de los procesos se utiliza en la industria para definir los procesos, los materiales y los equipos fundamentales. En ella está incluida toda la información escrita disponible relativa a la tecnología del proceso, los equipos utilizados, las materias primas y los productos y su peligrosidad antes de realizar un análisis de riesgos del proceso. Otra información crucial en cuanto a seguridad de los procesos es la documentación relativa a las revisiones de proyectos importantes y criterios básicos de diseño.

La *información química* incluye no solamente las propiedades químicas y físicas, los datos de reactividad y corrosión y la estabilidad térmica y química de productos químicos como los hidrocarburos y materiales altamente peligrosos del proceso, sino también los efectos peligrosos resultantes de mezclar inadvertidamente diferentes sustancias incompatibles. La información química incluye también los aspectos necesarios para

realizar una evaluación del riesgo ambiental de emisiones tóxicas e inflamables y límites de exposición permisibles.

Información sobre la tecnología del proceso: incluye diagramas de flujo generales y/o simples, así como las descripciones de los aspectos químicos de cada proceso específico con los límites de seguridad superiores e inferiores para temperaturas, presiones, flujos, composiciones y, cuando estén disponibles, materiales de diseño del proceso y balances energéticos. También se determinan las consecuencias de las desviaciones en los procesos y materiales, entre ellas su efecto sobre la seguridad y la salud de los trabajadores. Siempre que se modifiquen los procesos o los materiales se actualiza la información y se evalúa nuevamente de acuerdo con el sistema de gestión establecido para cambios de la instalación.

Información sobre los equipos del proceso y el diseño mecánico: incluye la documentación sobre las normas de construcción utilizadas y si el equipo cumple o no las prácticas técnicas reconocidas. Se determina si el equipo del que se dispone, que fue diseñado y fabricado conforme a códigos, normas y prácticas ya en desuso, se mantiene, utiliza, inspecciona y comprueba para asegurar un funcionamiento seguro en todo momento. Cuando se producen modificaciones se actualiza y evalúa de nuevo la información sobre los materiales de construcción, los diagramas de tuberías e

instrumentos, el diseño de los sistemas de emergencia, la clasificación eléctrica, el diseño de la ventilación y los sistemas de seguridad.

Participación de los trabajadores

Los programas de gestión de la seguridad de procesos deben incluir la participación del trabajador en la elaboración y dirección de los análisis de seguridad de procesos y otros elementos del programa. Normalmente se proporciona a todos los trabajadores y empleados de los contratistas que trabajan en el área en cuestión, el acceso a la información sobre seguridad de procesos, los informes de investigación de incidentes y los análisis de riesgos de los procesos. Los países más industrializados exigen que los trabajadores sean instruidos sistemáticamente en la identificación, naturaleza y manipulación segura de todos los productos químicos a los que pueden estar expuestos.

Análisis de los riesgos de los procesos

Una vez recopilada la información sobre seguridad de procesos, se realiza un análisis de los riesgos de los procesos interdisciplinar, concienzudo y sistemático, adaptado a la complejidad del proceso, con el fin de identificar, evaluar y controlar los riesgos. Las personas que realicen el análisis de los riesgos de los procesos deben ser conocedores y expertos en los aspectos de importancia relativos a química, ingeniería y operaciones del proceso. Por lo común, en cualquier equipo de análisis hay una persona (como mínimo) muy familiarizada con el proceso que se somete a análisis, y otra competente en la metodología de análisis de riesgos empleada.

El orden de prioridades seguido para determinar dónde empezar el análisis de los riesgos de los procesos en la instalación se basa en los criterios siguientes:

- extensión y naturaleza de los riesgos de los procesos;
- número de trabajadores potencialmente afectados;
- historia del funcionamiento y los incidentes del proceso,
- edad del proceso.

En la industria química se utilizan varios métodos para realizar el análisis de seguridad del proceso.

El método “¿Qué ocurriría si...?”, en el que se plantean una serie de preguntas para revisar las situaciones de riesgo potencial y las posibles consecuencias. Suele emplearse cuando se examinan las modificaciones o cambios propuestos al proceso, los materiales, el equipo o la instalación.

El método “Lista de control” es similar al método “¿Qué ocurriría si...?”, a excepción de que en éste se utiliza una lista de control previamente elaborada y específica para la operación, los materiales, el proceso y el equipo en cuestión. Es un método útil cuando se realizan las revisiones previas a la puesta en marcha una vez finalizada la construcción inicial o después de importantes ciclos de parada o adiciones a la unidad de procesado. Cuando se analizan unidades idénticas en su construcción, materiales, equipos y procesos, se emplea por lo común una combinación de los métodos “¿Qué ocurriría si...?” y “Lista de control”.

El método *Estudio de riesgos y análisis funcional de operabilidad (HAZOP)* se utiliza normalmente en las industrias química y petrolífera. Requiere un equipo interdisciplinar dirigido por un experto. El equipo utiliza palabras guía específicas que le sirven de directriz, tales como “no”, “aumento”, “disminución” e “inverso”, que se aplican sistemáticamente junto a las variables clave (presión, temperatura, flujo, etc.) para identificar las consecuencias de las desviaciones con respecto al diseño previsto para los procesos, equipos y operaciones en análisis.

Los análisis de árboles de fallos y errores/árboles de sucesos son técnicas similares deductivas utilizadas para entre otros aspectos estimar la probabilidad cuantitativa de que ocurra un suceso. En la primera se analizan los acontecimientos previos a un potencial accidente o incidente para identificar y presentar la combinación de errores operativos y fallos del equipo implicados en él. El análisis de árboles de sucesos es el proceso contrario: se trabaja a partir de sucesos, o secuencias de sucesos, específicos con el fin de detectar los que entrañan daños, para calcular entonces la probabilidad de que tales secuencias de sucesos y daños se materialicen.

El método de análisis de modos de fallos y efectos tabula cada sistema de proceso o unidad de equipo con sus modos de fallos, el efecto de cada fallo potencial sobre el sistema o unidad y la relevancia de cada fallo para la integridad del sistema. A continuación, los modos de fallos se clasifican según su importancia para determinar cuál es el que tiene más probabilidades de causar un incidente grave. Independientemente del método utilizado, los análisis de riesgos de los procesos químicos consideran lo siguiente:

- posición, localización y riesgos del proceso;
- identificación de cualquier incidente previo o cuasierror con consecuencias potencialmente catastróficas;
- controles técnicos y administrativos aplicables a los riesgos;
- interrelaciones de los controles y la adecuada aplicación de los métodos de detección para advertir el peligro con prontitud;
- consecuencias de los fallos humanos, la situación de la instalación y el fallo de los controles,
- consecuencias de los efectos sobre la salud y la seguridad de los trabajadores en áreas con posibilidad de que ocurran fallos.

Gestión de cambios o modificaciones

En las instalaciones de procesos químicos se deben elaborar y aplicar programas de revisión de la información sobre seguridad de procesos, de los procedimientos y de las prácticas al producirse los cambios. Tales programas incluyen un sistema de autorización de gestión y documentación escrita para los cambios de materiales, productos químicos, tecnología, equipos, procedimientos, personal e instalaciones que afecten a cada proceso.

La gestión de los programas de cambio en la industria química, por ejemplo, comprende las áreas siguientes:

- Cambio de la tecnología de tratamiento de hidrocarburos.
- Cambios en las instalaciones, los equipos o los materiales (p. ej., catalizadores o aditivos).
- Gestión del personal encargado del cambio y cambios organizativos y de personal.
- Cambios temporales, variaciones y cambios permanentes.
- Ampliación de los conocimientos sobre la seguridad de los procesos, que incluye:
 - base técnica para el cambio propuesto;
 - impacto del cambio sobre la seguridad, la salud y el medio ambiente;
 - modificaciones de los procedimientos de trabajo y las prácticas de trabajo seguras;
 - modificaciones requeridas para otros procesos;
 - tiempo necesario para el cambio;
 - requisitos para la autorización del cambio propuesto;
 - actualización de la documentación relativa a la información del proceso, los procedimientos de trabajo y las prácticas de seguridad;
 - necesidad de formación o educación a consecuencia del cambio;
- Gestión de modificaciones pequeñas o sutiles (cualquiera que no sea realmente una sustitución).
- Cambios no rutinarios.

La gestión del sistema de cambio incluye prestar información a los trabajadores que participan en el proceso y al personal de mantenimiento y del contratista cuyas tareas se ven afectadas por cualquier modificación de los cambios, así como proporcionar procedimientos de trabajo actualizados, información sobre la seguridad del proceso, prácticas de trabajo seguras y formación, según las necesidades, antes de poner en marcha el proceso o la parte del proceso en cuestión.

Procedimientos de trabajo

En las instalaciones de procesos químicos se deben elaborar y facilitar a los trabajadores instrucciones de trabajo y procedimientos detallados. Se comprobará regularmente que las instrucciones sean completas y precisas (actualizándose o corrigiéndose cuando se produzcan cambios) y cubren los límites de operatividad de las unidades de proceso, incluidas las tres áreas siguientes:

1. consecuencias de las desviaciones
2. medidas para evitar o corregir las desviaciones
3. funciones de los sistemas de seguridad relacionados con los límites operativos.

Los trabajadores que intervienen en el proceso tienen acceso a las instrucciones de trabajo de las áreas siguientes:

- puesta en marcha inicial (puesta en marcha después de ciclos de parada, emergencias y operaciones temporales);
- puesta en marcha normal (operaciones normales y temporales y parada normal);
- operaciones de parada y cierre de emergencia;
- condiciones en las que se requiere la parada de emergencia y la asignación de las responsabilidades del cierre a operarios cualificados;
- trabajo no rutinario;
- interfaz operador-proceso y operador-equipo,
- controles administrativos frente a controles automatizados.

Prácticas de trabajo seguro

En las instalaciones de procesos químicos se deben aplicar autorizaciones de trabajo en operaciones con aporte de altas temperaturas y control de trabajo seguro, así como programas de ordenación de trabajo para controlar las actividades realizadas en o cerca de las áreas de proceso. Los supervisores, los trabajadores y el personal del contratista deben estar familiarizados con los requisitos de los distintos procedimientos de autorización, entre ellos, la expedición y la expiración de mismo, así como con las medidas adecuadas de seguridad, manipulación de materiales y prevención y protección contra incendios.

He aquí los tipos de trabajo incluidos normalmente en los procedimientos de autorización de una instalación de productos químicos:

- trabajo a altas temperaturas (soldadura, derivación sobre tubería en carga, motores de combustión interna, etc.);
- bloqueo/advertencia de equipos con energía eléctrica, mecánica, neumática y presión;
- entrada a espacios confinados y utilización de gases inertes;
- recipientes, tanques, equipos y circuitos de procesos de venteo, apertura y limpieza,
- control de la entrada de personal no asignado a las áreas de proceso.

En las instalaciones de tratamiento químico se deben elaborar y aplicar prácticas de trabajo seguras para controlar los riesgos potenciales durante las operaciones del proceso que incluyan los siguientes aspectos:

- propiedades y factores de riesgo de materiales, catalizadores y productos químicos utilizados en el proceso;
- controles de protección técnica, administrativa y personal para prevenir las exposiciones;
- medidas que deben adoptarse en caso de contacto físico o exposición a productos químicos peligrosos;
- control de calidad de las materias primas, los catalizadores y control de existencias de productos químicos peligrosos;
- funciones de los sistemas de seguridad y de protección (bloqueo, supresión, detección, etc.);
- riesgos especiales o únicos en el lugar de trabajo.

Información y formación de los trabajadores

En las instalaciones de procesos químicos se debe contar con programas de formación en materia de seguridad de los procesos, con los que se proporcione formación y educación al personal que corresponda, al recientemente asignado a un puesto y a los nuevos supervisores y trabajadores. La formación impartida a los supervisores y trabajadores en operaciones y mantenimiento de procesos químicos abarcará las áreas siguientes:

- formación, conocimientos y cualificaciones que se exigen a los trabajadores;
- selección y desarrollo de programas de formación relacionados con el proceso;
- medición y documentación del rendimiento y la eficacia de los trabajadores;
- diseño de procedimientos de trabajo y mantenimiento del proceso;
- revisión de las operaciones y los riesgos del proceso;
- disponibilidad y adecuación de los materiales y piezas de repuesto a los procesos en los que se emplean;
- procedimientos de puesta en marcha, funcionamiento, parada y emergencia del proceso;
- riesgos para la seguridad y la salud relacionados con el proceso, los catalizadores y los materiales,
- prácticas y procedimientos de trabajo seguros en la planta y la zona del proceso.

Personal de empresas contratistas

En las instalaciones de procesos químicos es habitual acudir a contratistas, para lo cual la planta debe instituir procedimientos que garanticen que los empleados del contratista encargados de mantenimiento, reparaciones, ciclos de parada, renovaciones esenciales o trabajos especializados, conoce los riesgos, los materiales, los procesos, los procedimientos de trabajo y de seguridad y los equipos. La eficiencia de estos trabajadores ha de evaluarse periódicamente para garantizar que están formados, cualificados, que cumplen todas las reglas y procedimientos de seguridad y que son conscientes de:

- los posibles riesgos de incendios, explosiones y emisión de materiales tóxicos relacionados con su trabajo;
- los procedimientos de seguridad de la planta y las prácticas de trabajo seguras del contratista;
- el plan de emergencia y las acciones del personal del contratista,
- los controles de entrada, salida y presencia del personal del contratista en las áreas de proceso.

Revisiones de seguridad antes de la puesta en marcha

En las plantas químicas, las revisiones de la seguridad del proceso previas a la puesta en marcha se realizan antes de poner en marcha nuevas instalaciones de proceso o introducir nuevos materiales o productos químicos peligrosos en las instalaciones, después de un ciclo de parada importante o de modificaciones significativas de los procesos.

Las revisiones de seguridad previas a la puesta en marcha garantizan que se ha realizado lo siguiente:

- se han verificado la construcción y montaje, los materiales y el equipo conforme a los criterios de diseño;
- se han inspeccionado, comprobado y certificado los sistemas del proceso y el hardware, incluido el programa de control del ordenador;
- se han inspeccionado, probado y certificado las alarmas e instrumentos;
- se han inspeccionado, probado y certificado los dispositivos de emergencia y seguridad y los sistemas de señales;
- se han inspeccionado, probado y certificado los sistemas de protección y prevención de incendios;
- se han desarrollado y revisado los procedimientos de seguridad, prevención de incendios y respuesta de emergencia, que han de estar en su sitio y ser los adecuados;
- los procedimientos de puesta en marcha están instalados y se han iniciado las acciones adecuadas;
- se han analizado los riesgos del proceso; abordado, aplicado o resuelto todas las recomendaciones, y documentado las acciones;
- se ha completado toda la formación inicial y/o de recuerdo exigida al personal de funcionamiento y mantenimiento, incluidas la respuesta de emergencia, los riesgos del proceso y los riesgos para la salud;
- están completos y en su sitio todos los procedimientos de trabajo (normal y de cambio de estado), los manuales de funcionamiento, los procedimientos de los equipos y los de mantenimiento,
- se cumplen los requisitos de gestión de cambio para nuevos procesos y modificación de los ya existentes.

Garantías de calidad de diseño

Cuando se inician nuevos procesos o cambios esenciales de los ya existentes, suelen realizarse una serie de revisiones del diseño de la seguridad de los procesos antes y durante la construcción (antes de la revisión previa a la puesta en marcha). La revisión del control del diseño, realizada inmediatamente antes de la fase en que se consideran los planes y especificaciones como “representaciones definitivas del diseño”, abarca las áreas siguientes:

- planos, situación, espacio, clasificación eléctrica y drenajes;
- análisis de riesgos y diseño del proceso desde el punto de vista químico;
- requisitos y cualificaciones para la gestión del proyecto;
- diseño e integridad de los equipos de proceso y mecánicos;
- planos de conducciones e instrumentos;
- dispositivos técnicos fiables de seguridad, de emergencia, de alarma y de bloqueo,
- materiales de construcción y compatibilidad.

Normalmente se realiza otra revisión antes del inicio de la construcción en la que se consideran los aspectos siguientes:

- procedimientos de demolición y excavación;
- control de las materias primas;
- control del personal de construcción y equipamiento en la instalación y en el lugar donde ésta se halle.
- procedimientos de fabricación, construcción e instalación, e inspección de los mismos.

Por lo común, se realizan una o más revisiones en el curso de la construcción o modificación para garantizar que se cumplen las especificaciones del diseño y los requisitos de la instalación en los ámbitos siguientes:

- los materiales de construcción se suministran y se utilizan de la forma especificada;
- las técnicas, inspecciones, verificaciones y certificaciones de montaje y soldadura son las correctas;
- se tienen en cuenta los riesgos químicos y de salud profesional durante la construcción;
- se tienen en cuenta los riesgos físicos, mecánicos y de seguridad en el trabajo durante la construcción; además de la observancia de autorizaciones y prácticas de seguridad en la instalación,
- se dispone de sistemas de protección provisionales y de respuesta a emergencias, y se hallan en funcionamiento.

Mantenimiento e integridad mecánica

Las instalaciones de proceso tienen programas para mantener la integridad continua del equipo utilizado en el proceso, que incluyen inspecciones periódicas, pruebas, mantenimiento del rendimiento, acciones correctoras y garantía de calidad. Lo que se pretende con estos programas es garantizar que la integridad mecánica del equipo y los materiales se revisa y certifica, y que se corrigen los defectos antes de la puesta en marcha, o se toman las medidas de seguridad adecuadas.

Los programas de integridad mecánica se aplican a los equipos y sistemas siguientes:

- recipientes a presión y tanques de almacenamiento;
- sistemas de parada de emergencia y de protección contra incendios;
- defensas del proceso, como los sistemas y dispositivos de alivio de presión y venteos, los controles, los bloqueos, los sensores y las alarmas;
- sistemas de bombas y de conducción (incluidos componentes como las válvulas);
- garantía de calidad, materiales de construcción y técnicas de seguridad,
- mantenimiento y programas preventivos de mantenimiento.

Los programas de integridad mecánica abarcan también la inspección y prueba de materiales de mantenimiento, piezas de repuesto y equipos, con el fin de asegurar la instalación adecuada para la aplicación del proceso en cuestión. Los criterios de aceptación y la frecuencia de las inspecciones y pruebas debe adaptarse a las recomendaciones de los fabricantes, las buenas prácticas técnicas, los requisitos legales, las prácticas industriales, la política de la instalación o la experiencia previa.

Respuesta ante emergencias

Para cubrir una instalación completa de proceso y facilitar la identificación y la evaluación de los riesgos del mismo se elaboran programas de preparación y respuesta ante emergencias. En ellos se incluyen la formación y educación de los trabajadores y de los empleados de los contratistas en materia de procedimientos de notificación, respuesta y evacuación de emergencia.

Un programa típico de preparación para emergencias en las instalaciones de proceso debe cumplir los correspondientes requisitos legales y de la propia compañía, e incluye lo siguiente:

- sistema de alarma o notificación a los trabajadores y la comunidad;
- método preferente para la comunicación interna de incendios, vertidos, escapes y emergencias;
- requisitos para la notificación de incidentes relacionados con el proceso a los organismos oficiales correspondientes;

- parada de emergencia, evacuación, procedimientos para control del personal, procedimientos de escape de emergencia, retirada de vehículos y equipos y asignaciones de rutas;
- procedimientos de respuesta y rescate de emergencia, obligaciones y capacidades que incluyan trabajadores, seguridad pública, contratistas y organizaciones de ayuda mutua;
- procedimientos para manipular pequeños vertidos o emisiones de productos químicos peligrosos;
- procedimientos para facilitar y proteger los servicios y fuentes de energía de emergencia;
- planes de continuidad de actividades, dotación y aporte de personal y equipos,
- conservación de documentos y registros, seguridad, limpieza, recuperación y restauración de la instalación.

Auditorías periódicas de seguridad

En muchas instalaciones de proceso se realizan auditorías de autoevaluación de la gestión de seguridad de procesos para medir el rendimiento de la planta y garantizar el cumplimiento de los requisitos internos y externos (legales, de la empresa y de la industria) sobre seguridad de los procesos. Los dos principios básicos de estas auditorías son: recopilación de toda la documentación relevante acerca de los requisitos de gestión de seguridad de procesos en una instalación específica y determinación de la puesta en práctica y eficacia del programa mediante el seguimiento de su aplicación en uno o más procesos determinados. Se elabora un informe de los hallazgos y recomendaciones de la auditoría; el departamento de gestión de la instalación documenta cómo se han corregido o mitigado las deficiencias y, en caso contrario, la causa de que no se haya realizado la corrección correspondiente.

Los programas de auditorías de cumplimiento de las plantas de procesado de hidrocarburos incluyen los aspectos siguientes:

- establecimiento de objetivos, programa y métodos de verificación de los hallazgos antes de la auditoría;
- determinación de la metodología (o formato) que va a utilizarse al realizar la auditoría, y elaboración de listas de comprobación o formularios de informe de auditoría;
- disponibilidad para certificar el cumplimiento de los requisitos del gobierno, la empresa y la industria;
- asignación de equipos de auditoría con los conocimientos prácticos adecuados (expertos internos y/o externos);
- respuestas rápidas a todos los hallazgos y recomendaciones y documentación de las acciones llevadas a cabo;
- conservación de una copia del último (como mínimo) informe de auditoría de cumplimiento.

Las listas de comprobación específicas de la instalación y las unidades de procesado suelen elaborarse para su utilización cuando se realizan auditorías de seguridad de procesos que contemplen los aspectos siguientes:

- revisión del programa de orientación y gestión de la seguridad de procesos;
- visita preliminar a la refinería o instalación de tratamiento de gas;
- revisión de la documentación de la instalación de proceso;
- “incidentes previos” y cuasi errores (en la instalación o en una unidad específica);
- determinación y revisión de las unidades de procesado seleccionadas para someterlas a auditoría;
- construcción de unidades de procesado (iniciales y modificaciones posteriores);
- riesgos químicos de la unidad (materias primas, catalizadores, productos químicos, etc.);
- operaciones de las unidades de procesado;

- controles de la unidad, sistemas de emergencia y de seguridad;
- mantenimiento, reparación, prueba e inspección de las unidades;
- formación y participación de los trabajadores relacionados con la unidad;
- programa de cambios y modificaciones: gestión, aplicación y eficacia,
- protección contra incendios en el proceso y procedimientos de notificación y respuesta ante emergencias.

Dado que los objetivos y el alcance de las auditorías es variable, en el equipo de auditoría de cumplimiento debe haber al menos una persona con conocimientos sobre el proceso auditado, una persona con experiencia en las normas y reglamentos aplicables y otra persona con la formación y la cualificación necesaria para dirigir la auditoría. El departamento de gestión decide la inclusión de uno o más expertos externos en el equipo, si la instalación no cuenta con el suficiente personal o carece de expertos, o si los requisitos legales así lo exigen.

Investigación de los accidentes-incidentes durante el proceso

Las instalaciones de proceso debieran tener establecido procedimientos para investigar y analizar a fondo los accidentes-incidentes y los cuasi accidentes relacionados con el proceso, aplicar y resolver rápidamente lo averiguado y las recomendaciones y revisar los resultados con los trabajadores y los subcontratistas con puestos relevantes respecto a las causas del accidente. Los accidentes-incidentes (o cuasi accidentes) son investigados a fondo lo más pronto posible por un equipo que incluye al menos una persona que conozca la operación del proceso implicada y otras con los conocimientos y experiencia adecuados.

Normas y reglamentos

Las instalaciones de proceso están sometidas a dos formas distintas e independientes de normas y reglamentos.

1. Los códigos, normas y reglamentos externos aplicables al diseño, el funcionamiento y la protección de las instalaciones y los trabajadores del proceso, incluyen por lo común los reglamentos oficiales y las normas y prácticas de las asociaciones empresariales y de la industria.
2. Los principios, las directrices y los procedimientos internos, elaborados o adoptados por la empresa o instalación como complemento a los requisitos externos y para cubrir procesos diferentes o únicos, se revisan periódicamente y se modifican cuando es necesario, de acuerdo con la gestión del sistema de cambios de la instalación.

Secretos comerciales

Independientemente de los posibles secretos comerciales o acuerdos confidenciales, los responsables de la gestión de la instalación deben facilitar información sobre el proceso a las personas que:

- sean responsables de reunir y recopilar información sobre la seguridad de los procesos;
- estén realizando análisis de riesgos de los procesos y auditorías de control de cumplimiento;
- estén elaborando procedimientos de mantenimiento, funcionamiento y trabajo seguros;
- participen en investigaciones sobre accidentes-incidentes,
- sean responsable de los planes y respuestas de emergencia.

Por regla general, las instalaciones exigen que las personas a las que se facilitan datos sobre el proceso se comprometan por escrito a no revelar la información.

● OPERACIONES Y ACTIVIDADES PRINCIPALES DE LAS UNIDADES DE PROCESO: VISION GENERAL

Sydney Lipton

En este artículo se ofrece información sobre los equipos básicos de proceso, el almacenamiento, la disposición de la planta y algunas consideraciones sobre las operaciones, en el ámbito de las industrias de procesos químicos, incluidos los principales temas y conceptos aplicables a todo el sector. Ahora bien, gran parte de los equipos que precisan los procesos químicos son muy especializados y no aceptan generalizaciones. En otros puntos de esta *Enciclopedia* se atiende con más detalle a la toxicidad, los materiales peligrosos y la seguridad del proceso.

Existen dos categorías básicas en cuanto a la disposición de las instalaciones de tratamiento químico: disposición de la planta (que comprende todas las unidades de proceso, servicios, zonas de almacenamiento, zonas de carga y descarga, edificios, áreas comerciales y almacenes) y disposición de la unidad o proceso (que comprende solamente la localización del equipo para un proceso específico, denominado también área de proceso).

Disposición de la planta

Situación

La localización o situación de una planta completa depende, como se expone en la Tabla 77.2 (CCPS 1993), de varios factores generales, que varían considerablemente en función de los lugares, los gobiernos y las políticas económicas. Entre estos distintos factores, las consideraciones en materia de seguridad ocupan un lugar destacado, y en algunos lugares constituyen el factor principal que rige la situación de la planta.

Un aspecto importante de la seguridad de la instalación en cuanto a su localización es contar con una separación o zona de amortiguación entre la planta donde se realicen procesos peligrosos y otras plantas, viviendas, colegios, hospitales, carreteras, cursos de agua y pistas de aterrizaje cercanos. En la Tabla 77.3 se presentan algunas consideraciones generales de seguridad. La importancia de la zona de amortiguación radica en que la distancia tiende a reducir o mitigar las exposiciones potenciales debidas a distintos accidentes. La distancia necesaria para

Tabla 77.2 • Algunos factores para la selección de los emplazamientos de las fábricas.

- Densidad de población en torno a la fábrica
- Frecuencia de desastres naturales (terremotos)
- Vientos predominantes y datos meteorológicos
- Disponibilidad de energía
- Aspectos relacionados con la seguridad
- Normas en materia de agua
- Accesibilidad a las materias primas y a los mercados
- Transporte
- Permisos de instalación y dificultad para obtenerlos
- Requisitos de interacción en los avances industriales
- Disponibilidad y coste de la mano de obra
- Incentivos para la inversión

Tabla 77.3 • Aspectos en la seguridad del emplazamiento de la planta.

- Zona de separación
- Localización de otras instalaciones peligrosas próximas
- Existencias de materiales tóxicos y peligrosos
- Idoneidad del suministro de agua para combatir incendios
- Acceso al equipo de emergencia
- Disponibilidad de apoyo en la respuesta de emergencia de las industrias adyacentes y la comunidad
- Condiciones atmosféricas extremas y vientos predominantes
- Presencia de autopistas
- Restricciones medioambientales y de eliminación de residuos durante las emergencias
- Drenaje y pendiente
- Mantenimiento e inspección

reducir las concentraciones tóxicas a niveles aceptables a través de la interacción atmosférica y la dispersión de materiales tóxicos de una emisión accidental es algo que puede definirse. Asimismo, el lapso de tiempo entre una emisión tóxica y la exposición del público (mientras atraviesa la zona de amortiguación) se utiliza para advertir a la población mediante programas de respuesta de emergencia planeados previamente. Debido a que las plantas tienen distintos tipos de instalaciones con materiales tóxicos, se deben realizar análisis de dispersión sobre los sistemas peligrosos para asegurar que la zona de amortiguación es adecuada en todas las áreas que rodean el perímetro de la planta.

El fuego es un riesgo potencial en las plantas e instalaciones de proceso. Los grandes incendios causan a veces radiación térmica que puede mitigarse también con la distancia. Los dispositivos de recogida de gases y vapores situados en lugares elevados son también una fuente de radiación térmica durante una operación de emergencia o de puesta en marcha/parada. Lo que hacen es quemar automáticamente gases de escape o emisiones de vapor en posiciones elevadas o en lugares especiales sobre el suelo; deben estar emplazados fuera del perímetro de la planta (para proteger a las comunidades cercanas) y debe prohibirse a los trabajadores el acceso a una determinada zona alrededor de su base. Si no se manipula correctamente, el sobrante del líquido que entra en estos dispositivos puede originar gotas de líquido en combustión. Además del fuego, es posible que se produzcan explosiones en el equipo o una nube de vapor que cause al inflamarse ondas explosivas. La distancia que ocupe la zona de amortiguación reducirá los efectos de la explosión; aún así, ésta afectará a la comunidad vecina.

Asimismo deben considerarse posibles emisiones o incendios accidentales en las instalaciones existentes cercanas al lugar en cuestión. Se deben prever y evaluar los eventuales incidentes para determinar el posible efecto sobre la disposición propuesta para la planta y las respuestas de emergencia a un suceso externo, coordinando estas respuestas con las de otras plantas y comunidades afectadas.

Otras consideraciones

Dow Chemical Company ha elaborado otro planteamiento de disposición de plantas basado en un nivel aceptable de daño máximo probable para la propiedad (MPPD) y en un riesgo de interrupción de la actividad (B1) (Dow Chemical Company 1994a). Se trata de consideraciones de importancia

Tabla 77.4 • Instalaciones que suelen situarse separadas en la disposición general de las plantas.

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Unidades de proceso • Parque de tanques • Instalaciones de carga y descarga • Antorchas • Generadores, calentadores e incineradores • Torres de refrigeración • Subestaciones, grandes centros de conmutación eléctrica • Edificios centrales de control • Almacenes | <ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios de análisis • Sistemas de entrada de medición y bloqueo de uso general • Mangueras para incendios, monitores fijos, depósitos y bombas de emergencia contra incendios • Áreas de tratamiento de residuos • Edificios y áreas de mantenimiento • Edificios administrativos |
|--|---|

tanto para las plantas nuevas como para las ya existentes. El índice Dow de incendios y explosiones es útil al trazar nuevas disposiciones de plantas o al añadir equipos a las existentes. Si los riesgos calculados a partir del índice son inaceptables, deben aumentarse las distancias de separación. A su vez, los cambios en la disposición reducen a veces el riesgo.

Disposición general

Al trazar la disposición general de una planta es importante considerar los vientos dominantes. Las fuentes de ignición deben estar situadas en contra del viento con respecto a las posibles fugas. En esta categoría se incluyen los calentadores, hervidores, incineradores y dispositivos de recogida de vapor (CCPS 1993). Otra recomendación (CCPS 1993) es la colocación de los tanques de almacenamiento a favor del viento con respecto a las unidades y servicios de procesado. La legislación ambiental ha reducido significativamente las fugas de los tanques (Lipton y Linch 1994).

En varias publicaciones se han señalado las distancias mínimas de separación para unidades de procesado, equipos y diferentes funciones de las plantas (CCPS 1993; Dow Chemical Company 1994a; IRI 1991). En la Tabla 77.4 figuran una serie de instalaciones generales sobre las que suele recomendarse la existencia de una distancia de separación en las disposiciones generales de las plantas. Las recomendaciones reales para distancias deben definirse cuidadosamente. Aunque los calentadores expuestos al fuego y los hornos de proceso no aparecen en la Tabla 77.4, tienen importancia, y la distancia de separación recomendada debe incluirse en la disposición de una unidad de proceso.

Asimismo son necesarias carreteras para emergencias y acceso de vehículos o equipos de mantenimiento; requieren un cuidado emplazamiento entre las unidades de proceso y a través de las distintas secciones de la planta. Deben dejarse espacios libres para tuberías y otros equipos elevados, además de los requeridos en los laterales de cruces y entradas a todas las instalaciones.

Los requisitos de disposición se basan en distancias de separación mínimas recomendadas (CCPS 1993; NFPA 1990; IRI 1991; Mecklenburgh 1985) o determinadas mediante un análisis de riesgos (Dow Chemical Company 1994a).

Disposición de unidades de proceso

La Tabla 77.4 contiene un resumen de la disposición general de las separaciones de la planta. Las unidades de proceso están incluidas en el bloque específico presentado en la disposición

general. El proceso químico aparece, por lo común, detallado en los diagramas de proceso y ejecución. La disposición de un proceso requiere tener en cuenta algunos aspectos, además de las distancias específicas de separación entre equipos, algunas de las cuales se presentan en la Tabla 77.5.

El ensamblaje del equipo en cualquier unidad de procesado variará considerablemente en función del proceso. La toxicidad y las características de peligro de las corrientes y materiales en las unidades presentan también grandes variaciones. A pesar de estas diferencias, se han desarrollado normas de distancias mínimas para muchos equipos (CCPS 1993; NFPA 1990; IRI 1991; Mecklenburgh 1985). Se dispone de procedimientos para calcular las posibles fugas y las exposiciones tóxicas procedentes del equipo de procesado que también pueden afectar a la separación (Dow Chemical Company 1994b). Asimismo se aplican análisis de dispersión cuando se hayan estimado las fugas.

Equipos y distancia de separación

Es posible utilizar una técnica de matriz para calcular el espacio de separación necesario entre los equipos (CCPS 1993; IRI 1991). En los cálculos basados en las condiciones específicas del proceso y en una evaluación de los riesgos en los mismos se pueden obtener distancias de separación diferentes a las de una matriz normalizada.

Es posible elaborar listas muy amplias para una matriz mediante la depuración de las categorías individuales y la adición de equipo. Por ejemplo, los compresores se pueden dividir en varios tipos, como aquellos que manipulan gases inertes, aire y gases peligrosos. Las distancias de separación para compresores de motor difieren de las de las máquinas de motor o de vapor. Las distancias de separación en las instalaciones de almacenamiento que albergan gases licuados deben ser analizadas sobre la base de la naturaleza inerte del gas.

Deben definirse cuidadosamente los límites de los acumuladores del proceso, que son las líneas limítrofes o límites del terreno para una unidad de proceso (el nombre procede de la utilización, en un principio, de una batería de hornos en el proceso). Otras unidades, carreteras, servicios, conducciones, zanjas, etc., se disponen en función de los límites de los acumuladores. Aunque la situación del equipo de una unidad no llegue a los límites de acumuladores, deben definirse distancias de separación entre ambos.

Tabla 77.5 • Consideraciones generales en la disposición de una unidad de proceso.

- Definición del área para expansión y accesibilidad a la unidad
- Accesibilidad al equipo de reparaciones para mantenimientos frecuentes
- Requisitos espaciales para reparaciones de equipos (p. ej., área necesaria para empujar el haz del intercambiador de calor o accesibilidad para la válvula de control)
- Barreras para equipos de alta presión o reactores con potencial explosivo
- Requisitos espaciales y mecánicos para carga y descarga de reactores o torres rellenas de sólidos
- Espacio para venteo de explosiones de polvo
- Separación entre los equipos abiertos o inspeccionados con frecuencia y las tuberías, los recipientes, etc. a altas temperaturas.
- Edificios o estructuras especiales y espacio libre necesario (p. ej., cabina del compresor con puente grúa interno o grúa externa)

Salas o edificios de control

En el pasado, el diseño de cada unidad de procesamiento incluía una sala desde donde se llevaba el control operativo del proceso. Con la aparición de la instrumentación electrónica y el proceso controlado informáticamente, las salas individuales de control han sido sustituidas por una sala central que controla varias unidades de proceso en muchas operaciones. La sala de control centralizado es económicamente rentable debido a la optimización del proceso y los aumentos en la eficacia del personal. Aún existen unidades individuales de proceso, y en algunas plantas especializadas los antiguos edificios de control sustituidos por salas de control centralizado aún pueden utilizarse para el seguimiento de procesos locales y controles de emergencia. Aunque las funciones y el emplazamiento de la sala de control están condicionados generalmente por cuestiones económicas, el diseño de la sala o edificio de control es muy importante para mantener el control de emergencia y para la protección del trabajador. He aquí algunas consideraciones para los edificios de control central y local:

- presurización del edificio de control para prevenir la entrada de vapores tóxicos y peligrosos;
- diseño del edificio de control de forma que sea resistente a explosiones y estallidos;
- establecimiento de un lugar con un riesgo mínimo (basado en la distancia de separación y la probabilidad de escapes de gases);
- purificación de todo el aire de entrada e instalación de un bloque de entrada que minimice la entrada de vapores peligrosos o tóxicos;
- sellado de todas las salidas de desagües procedentes del edificio de control,
- instalación de un sistema de extinción de incendios.

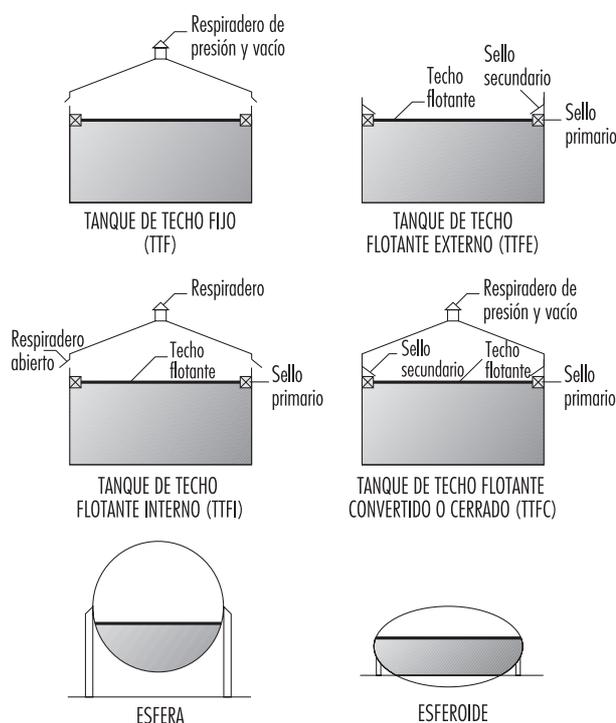
Reducción de existencias

Un aspecto importante en las disposiciones del proceso y de las plantas es la cantidad de materiales tóxicos y peligrosos en existencia, incluido el equipo. Las consecuencias de una fuga son más graves al aumentar el volumen del material. Por consiguiente, deben reducirse las existencias al mínimo posible. Las mejoras del proceso que reducen el número y el tamaño de las piezas

Tabla 77.6 • Medidas para limitar las existencias.

- Reducción de las existencias en tanques de almacenamiento mediante mejora de los controles del proceso y control puntual de las operaciones y existencias
- Eliminación o minimización de existencias en tanques en planta mediante integración de los procesos
- Utilización de análisis y desarrollo de las variables de las reacciones para reducir el volumen del reactor
- Sustitución de los reactores discontinuos por reactores continuos, lo que reduce también las retenciones aguas abajo
- Disminución de las retenciones de la columna de destilación mediante reducciones del volumen de residuos y retención de bandejas empleando bandejas o empaquetamientos más avanzados
- Sustitución de calderinas por termosifones
- Minimización de los volúmenes de los depósitos elevados y de los depósitos de compensación
- Mejora de la disposición y el tamaño de las tuberías para minimizar las retenciones
- Donde se produzcan materiales tóxicos, minimizar su retención.

Figura 77.2 • Tanques típicos de almacenamiento sobre el suelo.



del equipo reducen las existencias, disminuyen el riesgo y la inversión y mejoran también la eficacia.

En la Tabla 77.6 se mencionan algunas consideraciones para la reducción de las existencias. Al construir una nueva instalación, el proceso debe optimizarse atendiendo a los objetivos de la Tabla 77.6.

Almacenes

Los almacenes de una planta de tratamiento de productos químicos pueden albergar sustancias sólidas y líquidas, productos intermedios, subproductos y productos del proceso. Los productos almacenados en muchas instalaciones son intermedios o precursores de otros procesos. Es posible también que se almacenen diluyentes, disolventes u otros materiales del proceso. Todos estos materiales se almacenan por regla general en tanques sobre el suelo (TSS). En algunas instalaciones se utilizan aún los tanques subterráneos (TS), pero su uso está muy limitado debido a los problemas de acceso que plantean y a su capacidad limitada. Además, las posibles fugas de dichos tanques subterráneos presentan problemas ambientales cuando las fugas contaminan el agua subterránea. La contaminación de la tierra puede provocar exposiciones atmosféricas por evaporaciones de materiales de elevada presión de vapor. Las fugas o evaporaciones de materiales entrañan un problema de exposición durante los trabajos de descontaminación del suelo. En muchos países, las fugas de los TS han provocado la elaboración de estrictas normas ambientales, como los requisitos para los tanques de doble pared y el control del subsuelo.

En la Figura 77.2 se representan tanques típicos de almacenamiento sobre el suelo. Los TSS verticales son tanques con techo en forma de cono o de bóveda; tanques de techo flotante que pueden estar cubiertos o no cubiertos, o tanques de techos flotantes externos (TTFE). Los tanques de techos cerrados o

Tabla 77.7 • Separación de tanques y consideraciones sobre la localización.

- La separación según las distancias de un contenedor a otro puede basarse en referencias, y es posible calcular la distancia de radiación térmica en caso de incendio en un tanque adyacente.
- Se deben separar los tanques de las unidades de proceso.
- La localización del tanque, a ser posible a sotavento de otras áreas, minimiza los problemas de ignición en caso de que el tanque emita una cantidad importante de vapor.
- Los tanques de almacenamiento deben tener cubetos, exigidos por la ley en algunos países.
- Se pueden agrupar los tanques para la utilización de cubetos y equipos contra incendios comunes.
- Los cubetos deben tener capacidad de aislamiento en una emergencia.

convertidos son TTFE con cubiertas instaladas sobre los tanques, normalmente bóvedas de tipo geodésico. Debido a que con el tiempo los TTFE no mantienen una forma perfectamente circular, es difícil sellar el techo flotante, por lo que se instala una cubierta sobre el tanque. Un diseño de bóveda geodésica elimina los armazones necesarios para tanques de techo cónico (TTC). La bóveda geodésica es más económica que el techo cónico y además reduce la emisión de materiales al medio ambiente.

Normalmente los tanques están limitados al almacenamiento de líquidos cuando la presión del vapor del líquido no supera los 77 kPa. Cuando no es así, se utilizan esferas o esferoides diseñados para operaciones con presión. Los esferoides pueden ser muy amplios, pero no se instalan donde la presión supere ciertos límites definidos por el diseño mecánico. En la mayor parte de las aplicaciones de almacenamiento de elevada presión de vapor, las esferas suelen ser el recipiente de almacenamiento y están equipadas con válvulas limitadoras de presión para prevenir el exceso de ésta. Un aspecto preocupante en cuanto a la seguridad de las esferas es la posibilidad de rotura o de vuelco, al generarse sobrecargas y sobrepresiones, provocando la descarga de la válvula de seguridad y llegando en casos extremos a la ruptura de la pared de la esfera (CCPS 1993). En general, el contenido líquido se estratifica, y si el material caliente (menos denso) se carga en el fondo de la esfera, sube a la superficie con el material de superficie frío de mayor densidad vertido sobre el fondo. El material caliente de superficie se evapora, aumentando la presión, lo que puede provocar la descarga de la válvula de seguridad o la sobrepresión de la esfera.

Disposición del tanque

La disposición del tanque requiere una cuidadosa planificación. Existen recomendaciones para las distancias de separación de tanques y otros aspectos (CCPS 1988; 1993). En muchas instalaciones, las distancias de separación no están especificadas, pero las mínimas (OSHA 1994) pueden obtenerse de diversas decisiones aplicables a las distancias de separación. Algunas de estas consideraciones se exponen en la Tabla 77.7. Por otra parte, el mantenimiento del tanque es un factor que ha de tenerse en cuenta en la separación de tanques a presión, refrigerados y atmosféricos (CCPS 1993).

Se necesitan cubetos de retención con un volumen nominal suficiente para el contenido del tanque. Cuando dentro de un cubeto hay varios tanques, la capacidad mínima volumétrica del mismo es equivalente a la capacidad del mayor (OSHA 1994). Las paredes del cubeto pueden estar construidas de tierra, acero,

hormigón o mampostería sólida. No obstante, los cubetos de tierra deben ser impermeables y tener una parte superior lisa con una anchura mínima de 0,61 m. Además, el suelo dentro del área de los cubetos debe tener también una capa impermeable para prevenir la fuga de productos químicos o aceites al suelo.

Fugas de los tanques

Un problema que va agravándose con el transcurso de los años son las fugas de los tanques debidas a la corrosión de la parte inferior. Los tanques suelen tener capas de agua en el fondo que pueden contribuir a la corrosión, y existe la posibilidad de que se produzca corrosión electrolítica debido al contacto con la tierra. Así pues, se han establecido requisitos legales en distintas zonas para controlar las fugas del fondo de los tanques y la contaminación del subsuelo y del agua subterránea con contaminantes del agua. Se han elaborado varios procedimientos de diseño para controlar las fugas (Hagen y Rials 1994), a lo que se añade la instalación de fondos dobles y la protección catódica, empleada en algunas instalaciones para controlar mejor el deterioro de los metales (Barletta, Bayle y Kennelley 1995).

Extracción de agua

La descarga manual periódica de agua desde el fondo del tanque entraña riesgo de exposición a sustancias peligrosas. La observación visual para determinar el interfaz mediante un drenaje abierto manual puede exponer al trabajador. Para minimizarlo, se instala una descarga cerrada con un sensor de interfaz y una válvula de control (Lipton y Lynch 1994). A estos efectos se dispone en el mercado de distintos sensores.

Exceso de llenado de los tanques

Con frecuencia los tanques se llenan en exceso, lo que entraña riesgos para la seguridad, exponiendo a los trabajadores. Una manera de prevenirlo es la utilización de instrumentos de doble nivel que controlen las válvulas de bloqueo de entrada o las bombas de alimentación (Bahner 1996). Durante muchos años se instalaron tubos de rebose en los tanques de productos químicos, pero terminaban a una corta distancia sobre la abertura del drenaje para así permitir la observación visual de la descarga del sobrante. Por otra parte, el drenaje debía tener capacidad para acoger la tasa máxima de llenado y garantizar un drenaje adecuado. No obstante, este sistema es una fuente potencial de exposición, que se elimina conectando el tubo de rebose directamente al drenaje con un indicador de flujo en el tubo para mostrar el exceso de llenado. Aunque funcionara correctamente, dicha solución produce una sobrecarga del sistema de drenaje con un volumen de contaminantes muy alto y posibles problemas de salud y seguridad.

Inspección y limpieza de los tanques

Los tanques se retiran del servicio periódicamente para su inspección y limpieza, labores que han de controlarse cuidadosamente para prevenir la exposición del trabajador y reducir al mínimo los riesgos. Después del drenaje, los tanques se lavan con un chorro de agua para eliminar los restos de líquido del proceso. Antiguamente solían limpiarse manual o mecánicamente donde fuera necesario. Al drenar un tanque, se llena de vapor que puede generar una atmósfera tóxica e incluso combustible. Es posible que el lavado con un chorro de agua no afecte significativamente a la toxicidad de la atmósfera interior, pero reduce los problemas de combustión. Con techos flotantes, el material que se halla por debajo de ellos puede rociarse o drenarse, aunque en algunas ocasiones quedan materiales en el sumidero que deben eliminarse manualmente, con los consiguientes problemas de exposición. El personal debe en esos casos llevar equipos de protección personal (EPP).

Por lo común, los tanques cerrados y cualquier volumen que se halle por debajo de los techos flotantes se purgan con aire hasta conseguir una concentración determinada de oxígeno antes de permitir la entrada. Ahora bien, debe medirse continuamente la concentración para asegurar que la concentración de tóxicos no excede el nivel adecuado ni varía.

Purga de vapor y control de emisiones

En el caso de tanques con techos fijos o con techos flotantes convertidos (TTFC), el purgado a la atmósfera no resulta aceptable en muchas situaciones. Al eliminar estos tanques, el respiradero de presión y vacío (PV) (representado en la Figura 77.2), los vapores fluyen a través de un conducto cerrado a un dispositivo de control en el que los contaminantes se destruyen o recuperan. Con ambos tanques se puede inyectar una purga inerte (p. ej., nitrógeno) para eliminar el efecto de vacío diurno y mantener una presión positiva para el dispositivo de recuperación. En el tanque TTFC, el nitrógeno elimina el efecto diurno y reduce los vapores enviados a la atmósfera mediante un respiradero de PV. No obstante, las emisiones de vapor no se eliminan. Entre los numerosos dispositivos y técnicas de control que existen, están la combustión, los absorbentes y los condensadores (Moretti y Mukhopadhyay 1993; Carroll y Ruddy 1993; Basta 1994; Pennington 1996; Siegall 1996). La elección de un sistema de control está en función de los objetivos que se tengan en cuanto a emisiones y de los costes de operación e inversión.

En los tanques con techo flotante, tanto internos como externos, los precintos y los controles de ajuste auxiliar reducen al mínimo las pérdidas de vapor.

Riesgos para la seguridad

La inflamabilidad es uno de los mayores motivos de preocupación del almacenamiento en tanques; se requieren sistemas de lucha contra incendios para el control y la protección de las zonas de propagación de incendios. Existen recomendaciones en este sentido, sobre sistemas e instalaciones de agua para incendios (CCPS 1993; Dow Chemical Company 1994a; NFPA 1990). Es posible pulverizar el agua directamente sobre un fuego en ciertas condiciones, siendo esencial para enfriar el tanque o el equipo contiguo y prevenir el sobrecalentamiento. Por otra parte, la espuma es un agente eficaz para combatir incendios, de modo que se pueden instalar equipos permanentes de espuma en los tanques. Si se instalan en un equipo móvil contra incendios, debe revisarlo el fabricante. Actualmente se dispone de espumas relativamente ecológicas y de baja toxicidad, además de eficaces y comparables a otras espumas en la extinción rápida de los incendios.

Equipos de proceso

En el tratamiento de productos químicos se utiliza una gran variedad de equipos, debido a los numerosos procesos, los requisitos especiales para cada uno de ellos y las variaciones de los productos. Así pues, es imposible revisar todos los equipos químicos utilizados hoy en día, por lo que en esta sección nos ocuparemos de los equipos más aplicados, según la secuencia del proceso.

Reactores

En la industria química existen muchos tipos de reactores. La selección del reactor depende de algunas variables, entre las cuales está si la reacción es discontinua o continua. Con frecuencia las reacciones discontinuas se convierten en continuas cuando se tiene más experiencia con las reacciones y mejoran algunas circunstancias, como disponer mejores catalizadores. El proceso de reacción continua es generalmente más eficaz y da

lugar a un producto más consistente, lo cual favorece el cumplimiento de los objetivos en cuanto a la calidad del producto. No obstante, aún existe un gran número de operaciones discontinuas.

Reacción

En todas las reacciones es necesaria su clasificación en base a cuestiones como las siguientes: Para definir los requisitos de calentamiento o enfriamiento precisos para controlar una reacción es necesario clasificarla como exotérmica o endotérmica (que produce o consume calor). Además, deben establecerse criterios sobre reacciones incontroladas para instalar sensores y controles que lo impidan. Antes de poner en funcionamiento un reactor a pleno rendimiento, se deben investigar y elaborar procedimientos de emergencia que garanticen la contención segura de la reacción incontrolada. Algunas de las posibles soluciones son: disponer de un equipo de control de emergencia que se active automáticamente, inyectar productos químicos que detengan la reacción y contar con dispositivos de purga que puedan adaptar y controlar el contenido del reactor. Las válvulas de seguridad y la purga son de gran importancia, y requieren equipos bien cuidados y en funcionamiento permanente. En consecuencia, suelen instalarse varias válvulas de seguridad con dispositivos de enclavamiento para permitir que no se reduzca la capacidad de protección requerida durante el mantenimiento de una válvula.

Si, debido a un fallo en el funcionamiento, hay escapes por una válvula o boquilla de seguridad, el efluente de descarga debe ser contenido en prácticamente todos los casos para reducir al mínimo los riesgos para la seguridad y la salud. Así pues, deben estudiarse cuidadosamente el método de contención de las descargas de emergencia mediante tuberías y la disposición final de la descarga del reactor. En general, deben separarse los vapores de los líquidos: los primeros se envían a un dispositivo de despresurización o recuperación, y los segundos se reciclan siempre que sea posible. La retirada de los sólidos requiere un estudio más complejo.

Discontinua

En los reactores donde se producen reacciones exotérmicas, un aspecto importante es la obstrucción de las paredes o los tubos internos causada por el refrigerante utilizado para mantener la temperatura. El método de eliminación de los materiales atascados se realiza de distintas formas, y está en función de sus características: con un disolvente, un chorro a alta presión o, en algunos casos, manualmente. En cualquier caso, deben controlarse cuidadosamente la seguridad y la exposición. El movimiento de los materiales dentro y fuera del reactor no debe permitir la entrada de aire, que puede formar una mezcla de vapor inflamable. El vacío debe romperse con un gas inerte (p. ej., nitrógeno). La entrada al recipiente para inspección y otros trabajos debe considerarse como entrada en un espacio confinado, debiéndose observar las normas y procedimientos para esta operación. Deben conocerse la toxicidad cutánea y por inhalación, y los técnicos deben conocer los riesgos para la salud.

Continua

Los reactores de flujo se pueden llenar con líquido o con vapor y líquido. Algunas reacciones producen lodos en los reactores. Asimismo, algunos reactores contienen catalizadores sólidos. El fluido de reacción puede ser un líquido, un gas o una mezcla de ambos. Los catalizadores sólidos, que facilitan la reacción sin participar en ella, suelen estar contenidos en rejillas y se denominan lechos fijos. Los reactores de lecho fijo tienen lechos sencillos y múltiples, mientras que las reacciones que en ellos se producen pueden ser exotérmicas o endotérmicas, y en su mayor parte requieren una temperatura constante (isoterma) en cada

lecho. Ello exige, por regla general, la inyección de flujos de alimentación o un diluyente en distintos lugares entre los lechos para controlar la temperatura. Con estos sistemas de reacción, la indicación de temperatura y la localización de los sensores en los lechos son muy importantes para prevenir una reacción incontrolada y cambios en el rendimiento o la calidad del producto.

Los lechos fijos normalmente pierden su actividad y deben ser regenerados o sustituidos. Para su regeneración, los depósitos del lecho deben ser eliminados mediante combustión, disueltos en un disolvente o, en algunos casos, regenerados mediante la inyección de un producto químico en un fluido interno en el lecho, restableciendo así la actividad catalítica. La aplicación de una u otra técnica está en función del catalizador. Cuando se quemán los depósitos, el reactor se vacía y purga de todos los fluidos del proceso, y después se llena con un gas inerte (por lo común, nitrógeno) que se calienta y recircula, aumentando el lecho a un nivel de temperatura determinado. En este punto se añade un volumen muy pequeño de oxígeno al flujo de entrada para iniciar un frente de llama que se mueve gradualmente a través de todo el lecho y controla el aumento de la temperatura. El exceso de oxígeno tiene un efecto perjudicial sobre el catalizador.

Retirada del catalizador de lecho fijo

La retirada de los catalizadores de lecho fijo debe controlarse cuidadosamente. Se drenan los fluidos del proceso de los reactores y a continuación el fluido remanente se desplaza con un chorro de líquido o se purga con un gas hasta que se haya eliminado todo el fluido del proceso. Es posible que el purgado final requiera otras técnicas antes de que el recipiente se pueda purgar con un gas inerte o aire, tras lo cual se abre el recipiente o se descarga el catalizador del recipiente bajo una capa inerte. Si en este proceso se utiliza agua, ésta se drena a través de tuberías cerradas hasta un desagüe. Algunos catalizadores son sensibles al aire o al oxígeno, haciéndose pirofóricos o tóxicos. Estos requieren procedimientos especiales para eliminar el aire durante el llenado o vaciado de los envases. Se deben definir cuidadosamente los procedimientos de protección personal y de manipulación para reducir al mínimo las exposiciones y proteger al personal.

La eliminación del catalizador consumido puede requerir otros tratamientos antes de enviarlo al fabricante para su reciclado o someterlo a un procedimiento de eliminación ecológico.

Otros sistemas de catalizadores

El flujo de gas a través de un lecho de catalizador sólido suelto expande el lecho y forma una suspensión similar a un líquido, denominada lecho fluido. Este tipo de reacción se emplea en distintos procesos. Los catalizadores utilizados se eliminan como flujos laterales gas-sólido para su regeneración y después vuelven al proceso a través de un sistema cerrado. En otras reacciones, la actividad del catalizador llega a ser muy alta y, aunque el catalizador se descarga en el producto, la concentración es muy baja y no plantea ningún problema. Cuando no conviene que se produzca una concentración elevada de sólidos de catalizador en el gas del producto, el arrastre de impurezas de los sólidos debe eliminarse antes de la purificación. Aún así, quedarán restos sólidos que se retiran eliminándolos en uno de los flujos de productos secundarios, que a su vez debe ser clarificado.

En casos en que el catalizador agotado se regenera mediante combustión, se requieren instalaciones de recuperación de sólidos en sistemas de lecho fluido para cumplir las restricciones ambientales. La recuperación consiste en varias combinaciones de ciclones, precipitadores eléctricos, filtros de bolsa o purificadores. Si la combustión se produce en lechos fijos, el principal motivo de preocupación es el control de la temperatura.

Debido a que los catalizadores de lecho fluido suelen ser susceptibles de ser respirados, los sólidos se deben manipular con cuidado para asegurar la protección del trabajador, tanto con catalizadores recientes como recuperados.

En algunas ocasiones se utiliza vacío para eliminar distintos componentes de un lecho fijo. El generador de vacío suele ser un chorro de vacío por vapor, lo que produce una descarga de vapor que contiene por regla general materiales tóxicos, aunque en concentración muy baja en la corriente de gases. No obstante, debe revisarse con atención la descarga del chorro de vapor para determinar las cantidades contaminantes, la toxicidad y la posible dispersión si se descarga directamente a la atmósfera. Si esto no es satisfactorio, la descarga puede requerir la condensación en un sumidero donde se controlen todos los vapores y el agua se envíe al sistema de desagüe cerrado; a tal efecto se utiliza una bomba de vacío rotativa. Cabe la posibilidad de que no se permita que una bomba de vacío oscilante descargue directamente a la atmósfera, pero en algunos casos se hace a un tubo de descarga, a un incinerador o a un calentador del proceso.

Seguridad

En todos los reactores los aumentos de presión constituyen un motivo de preocupación importante, ya que no debe superarse la presión del recipiente. Esos aumentos pueden deberse a un control deficiente del proceso, a un fallo en el funcionamiento o a una reacción incontrolada. En consecuencia, se necesitan sistemas limitadores de presión para mantener la integridad del recipiente, de manera que impidan la sobrepresión del reactor. Las descargas de las válvulas limitadoras deben estar cuidadosamente diseñadas para mantener una protección adecuada en todas las condiciones, incluido su mantenimiento. Es posible que ello requiera muchas válvulas. Si una válvula limitadora está diseñada para descargar en la atmósfera, el punto de descarga debe situarse por encima de todas las estructuras próximas y debe realizarse un análisis de dispersión para asegurar una protección adecuada de los trabajadores y las comunidades vecinas.

Si se instala un disco de ruptura con una válvula de seguridad, la descarga debe ser cerrada, diseñándose la descarga final de la forma anteriormente descrita. La ruptura de un disco no significa rectificación, por lo que un disco sin válvula de seguridad liberará probablemente la mayor parte del contenido de un reactor y al final del proceso de liberación podrá entrar aire en el reactor. Esto requiere un análisis cuidadoso para asegurar que no exista peligro de inflamación y que no se producen reacciones indeseables. Además, la descarga de un disco libera a veces líquido; el sistema de ventilación debe diseñarse para contener todos los líquidos con el vapor descargado, como se ha descrito antes. Las emisiones de emergencia a la atmósfera deben estar aprobadas por las autoridades legislativas antes de su instalación.

Los agitadores de mezcla instalados en los reactores se sellan, ya que las fugas pueden ser peligrosas; si se producen, el sello debe repararse, lo que requiere la parada del reactor. Tal vez sea necesaria una manipulación o tomar precauciones especiales para el contenido del reactor; la parada de emergencia debe incluir la finalización de la reacción y la disposición del contenido del reactor. La inflamabilidad y el control de la exposición deben revisarse cuidadosamente en cada etapa, incluida la disposición final de la mezcla del reactor. Dado que una parada resulta costosa y supone pérdidas de producción, se han introducido mezcladores magnéticos y sistemas de sellado más modernos para reducir el mantenimiento y las paradas del reactor.

La entrada a todos los reactores exige el cumplimiento de los métodos seguros de entrada a espacios confinados.

Torres de fraccionamiento o destilación

La destilación es un proceso en el que las sustancias químicas se separan mediante métodos que aprovechan las diferencias de sus puntos de ebullición. Las torres más comunes en las plantas químicas y refinerías son las de destilación.

La destilación en sus distintas modalidades es una etapa de procesado presente en la mayor parte de los procesos químicos. Es posible encontrar el fraccionamiento o la destilación en las etapas de purificación, separación, lavado, azeotrópicas y de extracción. Estas aplicaciones incluyen ahora la destilación de los reactivos, en la que se produce una reacción en una sección independiente de la torre de destilación.

La destilación se realiza con una serie de bandejas en una torre, o en una torre con un material de relleno. Los rellenos tienen configuraciones especiales que permiten rápidamente el paso de líquido y de gases, pero proporcionan un área suficiente para el contacto líquido-gas y un fraccionamiento eficaz.

Funcionamiento

Normalmente se aporta calor a una torre mediante un hervidor, aunque el contenido de calor de los flujos específicos puede ser suficiente para prescindir de él. Con el calor del hervidor se produce una separación vapor-líquido de varias etapas en las bandejas, y los materiales más ligeros ascienden a través de la torre. Los vapores de la bandeja superior se condensan total o parcialmente en el condensador superior. El líquido condensado se recoge en el tambor de recuperación del destilado, en el que parte del líquido se recicla a la torre y otra parte se retira y envía a un lugar específico. Los vapores no condensados se recuperan en otro lugar o se envían a un dispositivo de control que puede ser un quemador o un sistema de recuperación.

Presión

Las torres funcionan, por regla general, a presiones superiores a la atmosférica. No obstante, suelen hacerlo en condiciones de vacío para así minimizar las temperaturas del líquido que puedan afectar a la calidad del producto, o bien en situaciones en las que los materiales de la torre suponen un problema mecánico y económico debido al nivel de temperatura, que a veces es difícil de conseguir. Asimismo, las elevadas temperaturas pueden afectar al fluido. En las fracciones pesadas del petróleo, las temperaturas elevadas de los fondos de las torres dan lugar frecuentemente a problemas de coquificado.

El vacío se consigue normalmente con eyectores o bombas de vacío. En las unidades de procesado, las cargas de vacío comprenden varios materiales gaseosos ligeros, elementos inertes que tal vez hayan estado en el flujo de alimentación de la torre, y aire de las fugas. Por lo común, el sistema de vacío se instala detrás de un condensador para reducir la carga orgánica al sistema de vacío. El tamaño del sistema de vacío depende de la carga estimada del vapor, con eyectores que manipulan grandes cargas de vapor. En algunos sistemas se conecta directamente una bomba de vacío a una salida del condensador. Lo normal en un sistema eyector es la combinación de eyectores y condensadores barométricos directos en los que los vapores del eyector tienen contacto directo con el agua refrigerante. Los condensadores barométricos son grandes consumidores de agua, y la mezcla agua-vapor produce altas temperaturas del agua de salida, que tienden a evaporar todas las trazas de compuestos orgánicos en el sumidero barométrico atmosférico, con lo que aumentan las posibilidades de exposición en el área de trabajo. Asimismo se añade una gran carga de efluente al sistema de eliminación de agua.

Se consigue una gran reducción de agua junto a una reducción importante en el consumo de vapor en los sistemas de vacío modificados. La bomba de vacío no trabaja con una gran carga

de vapor, por lo que se utiliza un eyector de vapor en la primera etapa en combinación con un condensador de superficie para reducir la carga de la bomba de vacío. Igualmente, se instala un tambor sumidero para las operaciones en superficie. El sistema más simple reduce la carga de agua residual y mantiene un sistema cerrado que elimina las posibles exposiciones de vapor.

Seguridad

Todas las torres y tambores deben estar protegidos de las sobrepresiones que pueden causar los fallos en el funcionamiento, los incendios (Mowrer 1995) o los defectos en los servicios. Es necesaria una evaluación de los riesgos, exigida por la ley en algunos países. Disponer de un planteamiento de gestión general de seguridad de procesos aplicable al funcionamiento de la planta y del proceso mejora la seguridad, minimiza las pérdidas y protege la salud del trabajador (Auger 1995; Murphy 1994; Sutton 1995). Una válvula limitadora de presión (VLP) actúa descargando a la atmósfera o a un sistema cerrado. Suele estar instalada en la parte superior de la torre para eliminar la gran carga de vapor, aunque en algunas instalaciones están en otros puntos de la torre. En ocasiones se encuentran en el tambor elevado de recuperación del destilado, siempre que las válvulas no estén situadas entre la VLP y la parte superior de la torre. Si las válvulas de bloqueo están instaladas en los tubos del proceso que llegan al condensador, la VLP debe instalarse sobre la torre.

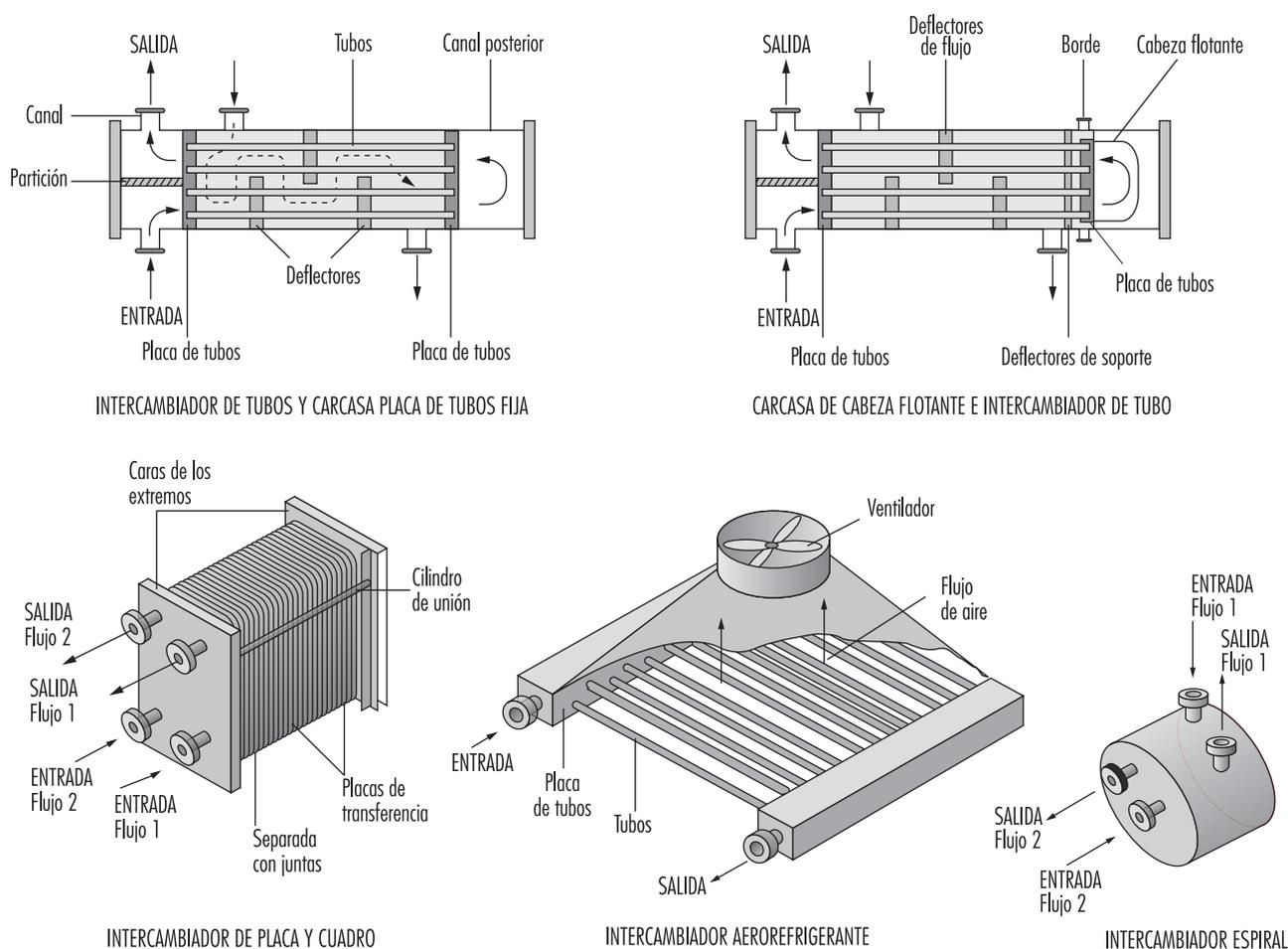
Cuando se libera la sobrepresión de la torre de destilación, en ciertas circunstancias de emergencia, la descarga de la VLP puede ser extremadamente grande. Una carga muy elevada en un tubo de ventilación de sistema cerrado puede ser la mayor carga en el sistema. Dado que una descarga de VLP puede ser repentina y el tiempo total de evacuación muy corto (menos de 15 minutos), esta carga de vapor extremadamente grande debe analizarse cuidadosamente (Bewanger y Krecker 1995; Boicourt 1995). Debido a que esta gran carga rápida es difícil de procesar en dispositivos de control, como los adsorbentes, los adsorbentes, los hornos, etc., en la mayor parte de las situaciones el dispositivo de control preferido para la eliminación del vapor es una antorcha. Normalmente, hay varias VLP conectadas a una sola antorcha. No obstante, tanto éste como todo el sistema deben estar diseñados cuidadosamente para cubrir las posibles contingencias (Boicourt 1995).

Riesgos para la salud

En el caso de la eliminación directa a la atmósfera debe realizarse un análisis de dispersión detallado de los vapores de descarga de la válvula, para asegurar que los trabajadores no están expuestos y que las concentraciones en la comunidad circundante están dentro de los límites permitidos. Al controlar la dispersión, los tubos de descarga de la válvula de seguridad a la atmósfera se pueden elevar para prevenir concentraciones excesivas en las estructuras próximas. Tal vez sea necesaria una chimenea alta semejante a una antorcha para controlar la dispersión.

Otro motivo de preocupación es la entrada a una torre para mantenimiento o para realizar cambios mecánicos durante una parada. Al tratarse de un espacio confinado, los trabajadores están expuestos a los riesgos que ello lleva asociados. El método de rociado a chorro y purga antes de abrir debe aplicarse cuidadosamente para asegurar unas exposiciones mínimas mediante la reducción de las concentraciones tóxicas por debajo de los niveles recomendados. Antes de comenzar las operaciones de rociado a chorro y purga debe reducirse la presión de la torre y cegar todas las conexiones de tuberías que llegan a ella (es decir, deben colocarse discos ciegos de metal entre los bordes de la torre y los bordes de la tubería de conexión). Son labores que deben llevarse a cabo con gran precaución para minimizar las exposiciones. En los diferentes procesos varían los métodos de

Figura 77.3 • Intercambiadores de calor típicos.



clarificación de fluidos tóxicos de la torre. Por lo común, el fluido de la torre es desplazado con un fluido que tiene una toxicidad muy baja y que posteriormente se drena y bombea a un lugar determinado. La capa y las gotas de líquido remanentes se vaporizan a la atmósfera a través de una brida superior que tiene un separador de soporte especial con una abertura entre el separador y la brida de la torre. Después de la vaporización, el aire entra en la torre a través de la abertura del separador especial, conforme va enfriándose la torre. Se abre una cámara en el fondo de la torre, y otra en la parte superior de la misma que permiten el flujo de aire en la torre. Cuando la concentración interna de la torre alcanza un nivel determinado, se puede pasar al interior.

Intercambiadores de calor

En la industria de procesos químicos existe una gran variedad de intercambiadores de calor. Son dispositivos mecánicos para la transferencia de calor a o desde un flujo del proceso. Se seleccionan conforme a las condiciones del proceso y el diseño del intercambiador. En la Figura 77.3 se presentan algunos de los tipos habituales de intercambiadores. La elección del más conveniente para un proceso es complicada y requiere una investigación detallada (Woods 1995). En muchas situaciones algunos tipos no son adecuados debido a la presión, la temperatura, la concentración de sólidos, la viscosidad, la cantidad de flujo y otros

factores. Por otra parte, el diseño de un intercambiador individual de calor varía considerablemente; se dispone de varios tipos de tubos de cabeza flotante e intercambiadores de chapas (Green, Maloney y Perry 1984). Suele preferirse la cabeza flotante cuando hay posibilidad de que las temperaturas provoquen una expansión excesiva del tubo que de otra forma no podría mantener la integridad en un intercambiador de chapas de tubo fijo. En el intercambiador de cabeza flotante simplificado de la Figura 77.3, la cabeza flotante está inserta completamente en el intercambiador y no tiene ninguna conexión con la cubierta. En otros modelos de cabeza flotante puede haber empaquetamiento en torno a la chapa de la tubería flotante (Green, Maloney y Perry 1984).

Fugas

El empaquetamiento de las chapas de tuberías flotantes está en contacto con la atmósfera y puede ser una fuente de fugas y exposición. Otros intercambiadores a veces tienen también fuentes de fugas, y por lo tanto deben ser examinados atentamente. Debido a sus características de transferencia de calor, los intercambiadores de placa y cuadro son frecuentes en la industria química. Las placas tienen distintas ondulaciones y configuraciones; están separadas por juntas que previenen la mezcla de los flujos y proporcionan un sellado externo. No obstante, los precintos limitan las aplicaciones de temperatura a unos 180 °C, aunque las mejoras en el sellado pueden superar esta limitación. Dado

que existen distintas placas, éstas se deben comprimir adecuadamente para asegurar un sellado correcto entre ellas. En consecuencia, es necesaria una instalación mecánica cuidadosa para prevenir las fugas y los posibles riesgos. La abundancia de precintos exige un control cuidadoso para minimizar las posibilidades de exposición.

Los intercambiadores refrigerados por aire resultan rentables económicamente, por lo que se encuentran en numerosas aplicaciones de procesos y en diversas partes de las unidades de proceso. Para ahorrar espacio, estos intercambiadores suelen instalarse apilados y sobre tuberías. La selección del material es importante, por lo que existe una gran variedad en la industria química. Estos tubos se conectan a la chapa del tubo, lo que requiere el uso de materiales compatibles. Las fugas a través de una fractura del tubo o en la chapa del tubo son un motivo de preocupación, ya que si el ventilador hace circular los vapores de la fuga, su dispersión entraña riesgo de exposición. La dilución del aire puede reducir significativamente el riesgo. Ahora bien, en ciertas condiciones atmosféricas los ventiladores se detienen, por lo que las concentraciones de las fugas aumentan, incrementando así las posibilidades de exposición. Asimismo, si no se reparan los tubos con fugas, la rotura puede agrandarse. Con líquidos tóxicos que no se evaporan rápidamente cabe la posibilidad de que se produzca un goteo y, en consecuencia, una exposición cutánea.

Los intercambiadores de calor acorazados y de tubo a veces desarrollan fugas a través de cualquiera de las bridas (Green, Maloney; Perry 1984). Ya que su tamaño varía enormemente y cuentan con superficies desde muy pequeñas a muy amplias, el diámetro de las bridas exteriores suele ser mucho mayor que las de las tuberías normales. Con estas anchas bridas, las juntas no sólo deben resistir las condiciones del proceso, sino proporcionar hermeticidad en las variaciones de carga de los pernos. Existen varios modelos de juntas. Mantener tensiones constantes de carga en todos los pernos de las bridas es difícil, lo que provoca fugas en muchos intercambiadores. La fuga de la brida puede controlarse con anillos obturadores (Lipton y Lynch 1994).

Las fugas se producen en los tubos de cualquiera de los intercambiadores que hay en el mercado, a excepción de los de placa y otros especiales. No obstante, estos últimos presentan otros problemas: cuando la fuga de los tubos va hacia un sistema de refrigeración por agua, el agua refrigerante descarga el contaminante en una torre refrigerante que puede ser una fuente de exposición para los trabajadores y la comunidad próxima y, por lo tanto, debe controlarse.

La dispersión de los vapores de la torre refrigerante se extiende a veces a causa de los ventiladores de las torres refrigerantes de tiro por aspiración (inducida o forzada). Además, las torres de convección natural descargan los vapores a la atmósfera, que después los dispersa. Ahora bien, la dispersión varía considerablemente según las condiciones meteorológicas y la elevación de la descarga. Los materiales tóxicos menos volátiles permanecen en el agua refrigerante y en el flujo de vaciado de la torre refrigerante, que debe tener la suficiente capacidad de tratamiento como para destruir los contaminantes. La torre refrigerante y el recipiente de la torre deben limpiarse periódicamente. Los contaminantes se suman a los posibles riesgos del recipiente y del relleno de la torre. Para la mayor parte de este trabajo es necesario llevar equipo de protección personal.

Limpeza del intercambiador

Un problema que se plantea con los tubos en la actividad de refrigeración del agua es la formación de sustancias en los mismos como resultado de la corrosión, los organismos biológicos y los depósitos sólidos. Como se ha afirmado antes, es posible que los tubos tengan fugas porque haya fracturas, o porque estén

enrollados en estrías sobre la chapa del tubo. Cuando se da cualquiera de estas condiciones, es preciso reparar el intercambiador y eliminar los fluidos del proceso del intercambiador, mediante una operación completamente controlada, necesaria para cumplir los objetivos en cuanto a exposición ambiental, seguridad y salud.

Generalmente, el fluido del proceso se drena hacia un recipiente, y el material restante se rocía a chorro fuera del intercambiador con un disolvente o material inerte. Este último se envía también a un recipiente para material contaminado drenando o presurizando con nitrógeno. En los casos en que haya material tóxico en el intercambiador, debe controlarse la presencia de restos de material tóxico. Si los resultados de los ensayos no son satisfactorios, el intercambiador se puede vaporizar para eliminar todas las trazas de material. No obstante, el orificio de escape de vapor se debe conectar a un sistema cerrado para prevenir el escape a la atmósfera. Mientras que el escape a un recinto cerrado puede no ser absolutamente necesario, en ocasiones hay más material contaminante en el intercambiador, lo que requiere la ventilación del vapor cerrado en todo momento para controlar los posibles riesgos. Después de la vaporización, la ventilación a la atmósfera admite aire. Este método general es aplicable al lado o lados del intercambiador que tienen material tóxico.

Los productos químicos utilizados después para la limpieza de los tubos o la coraza deben circular en un sistema cerrado. Normalmente, la solución de limpieza circula desde un camión cisterna, y la solución contaminada en el sistema se drena a un camión para su eliminación.

Bombas

Una de las funciones más importantes del proceso es el movimiento de líquidos, para lo cual existen en la industria química todo tipo de bombas. Las bombas herméticas y magnéticas son bombas centrífugas sin precintos. Existen accionadores de bombas magnéticas para su instalación en otros tipos de bombas para prevenir fugas. En la Tabla 77.8 se citan los tipos de bombas utilizados en la industria de procesos químicos.

Sellado

Desde el punto de vista de la salud y la seguridad, el sellado y la reparación de las bombas centrífugas son los principales motivos de preocupación. Los precintos mecánicos, que constituyen los principales sistemas de sellado, pueden presentar fugas y, en ocasiones, hincharse. No obstante, se han producido avances importantes en la tecnología del sellado desde el decenio de 1970, que han dado lugar a una reducción significativa de las fugas y han ampliado la vida útil de la bomba. Algunas de estas mejoras son: precintos de fuelle, precintos de cartucho, diseños externos mejorados, mejores materiales externos y mejoras en el control de las variables de la bomba. La continua investigación en la tecnología del sellado permitirá otras mejoras tecnológicas.

Tabla 77.8 • Bombas en la industria de proceso de productos químicos.

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| • Centrífugas | • De membrana |
| • Alternativas (pistón) | • De flujo axial |
| • Herméticas | • De hélice |
| • Magnéticas | • De cavidad móvil |
| • De turbina | • De lóbulos |
| • De engranajes | • De paletas |

En caso de fluidos altamente tóxicos se instalan con frecuencia bombas sin fugas o sin precintos, herméticas o magnéticas. El período de servicio operativo o el tiempo medio entre operaciones de mantenimiento ha mejorado notablemente y, en general, varía entre tres y cinco años. En estas bombas, el fluido del proceso es el fluido lubricante para los cojinetes del rotor. La vaporización del fluido interno afecta adversamente a los cojinetes, y a menudo hace necesaria su sustitución. Las condiciones del líquido en las bombas pueden mantenerse siempre que la presión interna en el sistema de cojinetes sea mayor que la presión de vapor del líquido a la temperatura de trabajo. Al reparar una bomba sin sellado, es importante drenar por completo un material de volatilidad relativamente pequeña bajo la supervisión del proveedor.

En las bombas centrífugas típicas el empaquetamiento se ha sustituido por precintos mecánicos, que se clasifican en general en sencillos y duales, y entre éstos últimos, tándem o dobles. Existen otras combinaciones de precintos duales, pero no se utilizan tanto. En general, los precintos mecánicos tándem o dobles con fluidos amortiguadores de líquido entre los precintos se instalan para reducir las fugas del precinto. El American Petroleum Institute (API 1994) publicó normas en materia de precintos mecánicos para las bombas centrífugas y rotativas, en las que se incluían la especificación e instalación de precintos mecánicos simples y duales. Actualmente existe una guía de aplicaciones de precintos mecánicos muy útil para evaluar los distintos tipos de precinto (STLE 1994).

A fin de prevenir un exceso de fugas o hinchamientos a causa del fallo de un precinto, se instala un casquillo prensaestopas detrás del precinto. Puede haber un fluido de chorro del prensaestopas para trasladar la fuga a un sistema de drenaje cerrado (API 1994). El sistema prensaestopas no es un precinto completo, por lo que se dispone de sistemas de sellado auxiliar, como manguitos aisladores. Estos están instalados en el casquillo que controla las fugas excesivas a la atmósfera o el hinchamiento del precinto (Liton y Lynch 1994). El diseño de estos precintos no está pensado para un funcionamiento continuo; tras su activación funcionan durante dos semanas, dando tiempo para cambiar las bombas o realizar ajustes en el proceso.

Existe un sistema de sellado mecánico más reciente que reduce esencialmente las emisiones a cero. Se trata de un sistema mecánico doble con un sistema amortiguador de gas que sustituye el amortiguador líquido del sistema de sellado mecánico dual (Fone 1995; Netzel 1996; Adams, Dingman y Parker 1995). En los sistemas de amortiguación líquidos, las caras del precinto están separadas por una película lubricante extremadamente delgada de fluido amortiguador, que también enfría las caras del precinto. Aunque están ligeramente separados, existe cierto contacto frontal que da lugar al deterioro del precinto y al calentamiento de la cara del precinto. Los precintos de gas se llaman precintos sin contacto, ya que una cara del precinto con muescas curvas bombea gas a través de las caras del precinto y forma una capa o dique de gas que separa completamente dichas caras. Esta falta de contacto concede una vida muy larga al precinto al par que reduce la pérdida por fricción, lo que hace que disminuya considerablemente el consumo de energía. Debido a que el precinto bombea gas, el flujo al proceso y a la atmósfera es muy pequeño.

Riesgos para la salud

Un motivo de inquietud importante con respecto a las bombas es el drenaje y rociado de la bomba para su mantenimiento o reparación. El drenaje o purgado y la retirada incluyen el fluido del proceso y del amortiguador. Estos procedimientos requieren la descarga de todos los fluidos en un sistema de drenaje de conexión cerrada. En el manguito prensaestopas de la bomba en el

Tabla 77.9 • Posibles fuentes de explosión en los equipos.

Equipo de transporte	Almacenamiento
<ul style="list-style-type: none"> • Conducciones neumáticas • Transportadores mecánicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenedores • Tolvas • Válvulas rotativas
Equipo de proceso	
<ul style="list-style-type: none"> • Colectores de polvo en filtros • Secadores de lecho fluido • Secadores de banda • Tamizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Trituradores • Molinos de bolas • Mezclado de polvos • Ciclones

que el manguito aislador separa el propulsor del prensaestopas, el manguito actúa como un aliviadero, ya que recoge parte del líquido. Las salidas de alivio del manguito o del drenaje del prensaestopas permiten la eliminación completa del líquido del proceso mediante drenaje y rociado. En el caso de fluidos amortiguadores, debería existir un método para drenar todo el fluido del área de sellado dual. El mantenimiento requiere la eliminación del precinto y, si el volumen no se drena y rocía completamente, los precintos pueden suponer una fuente de exposición durante la reparación.

Polvos

La manipulación de polvos en el equipo de procesamiento de sólidos constituye un motivo de preocupación debido a la posibilidad de incendio o explosiones. La explosión de un equipo puede hacerlo traspasar una pared o cierre como resultado de la presión generada, y enviar una onda de presión y fuego al área de trabajo. Los trabajadores pueden correr peligro, y el equipo adyacente recibir impactos fuertes con efectos drásticos. El polvo suspendido en el aire o en un gas con oxígeno y en un espacio confinado en ocasiones explota si hay presente una fuente de ignición con energía suficiente. En la Tabla 77.9 se presentan algunos ambientes explosivos típicos de los equipos.

Una explosión produce calor y la expansión rápida del gas (aumento de presión) y generalmente produce deflagración, que es un frente de llama que se desplaza rápidamente pero a una velocidad menor que la del sonido para estas condiciones. Cuando la velocidad del frente de la llama es mayor que la velocidad del sonido o es una velocidad supersónica, la condición se denomina detonación, que es más destructiva que la deflagración. La explosión y la expansión del frente de la llama ocurren en milisegundos y no dan tiempo suficiente para las respuestas estándar del proceso. En consecuencia, deben definirse las características de los posibles incendios y explosiones para determinar los riesgos que existen en las distintas etapas del tratamiento (CCPS 1993; Ebadat 1994; Bartknecht 1989; Cesana y Siwek 1995). Así pues, esta información puede servir de base para la instalación de controles y la prevención de explosiones.

Cuantificación del riesgo de explosión

Las explosiones se producen generalmente en equipo cerrado, por lo que se han realizado varios ensayos en equipos de laboratorio diseñados especialmente. Aunque los polvos parezcan similares, no deberían utilizarse los resultados publicados, ya que unas pequeñas diferencias entre ellos pueden significar que poseen características distintas de explosión.

Es posible definir el riesgo de explosión mediante diversas pruebas realizadas con polvos; entre éstas se hallan las descritas a continuación.

La prueba de clasificación determina si una nube de polvo puede iniciar y propagar llamas (Ebadat 1994). Los polvos con estas características se consideran polvos de Clase A; los que no arden, se incluyen en la Clase B. Los polvos de Clase A necesitan después más ensayos para evaluar su potencial de explosión y riesgo.

La prueba de energía mínima de ignición define la energía de chispa mínima necesaria para la ignición de una nube de polvo (Bartknecht 1989; Garzia y Senecal 1996).

En el análisis de la gravedad de la explosión, los polvos del Grupo A se someten a una prueba posterior en la que se introducen en forma de nube de polvo en una esfera, donde la presión se mide durante una explosión de ensayo basada en la energía mínima de ignición. Se define la presión máxima de explosión junto con el gradiente de presión (variación de la presión por unidad de tiempo). A partir de esta información se determina el valor característico específico de la explosión (Kst) en bar metros por segundo y se define la clase de explosión (Bartknecht 1989; Garzia y Senecal 1996):

$K_{st}(\text{bar} \cdot \text{m}/\text{s})$	Clase de explosión de polvo	Intensidad relativa
1-200	St 1	Moderada
201-300	St 2	Fuerte
300+	St 3	Muy fuerte

Se ha ensayado con muchos polvos, y la mayoría fueron de clase ST 1 (Bartknecht 1989; Garzia y Senecal 1996).

En la evaluación de los polvos que no forman nubes, la prueba se hace para determinar las condiciones y los procedimientos seguros de trabajo.

Pruebas de prevención de explosiones

Resultan útiles cuando no pueden instalarse sistemas de supresión de explosiones. Proporcionan información sobre las condiciones deseables de trabajo (Ebadat 1994).

La prueba de oxígeno mínimo define el nivel de oxígeno por debajo del cual el polvo no arderá (Fone 1995). Un gas inerte del proceso impedirá la ignición si el gas es aceptable.

Se determina la concentración mínima de polvo con el fin de establecer el nivel de trabajo por debajo del cual no puede producirse la ignición.

Pruebas de riesgo electrostático

Muchas explosiones son el resultado de combustiones electrostáticas y los posibles riesgos los determinan las diferentes pruebas. Algunas de ellas incluyen la energía mínima de ignición, las características de la carga eléctrica del polvo y la resistividad del volumen. A partir de los resultados de las pruebas es posible tomar ciertas medidas en la prevención de las explosiones, como el aumento de la humedad, la modificación de los materiales de construcción, las instrucciones adecuadas, el control de determinados aspectos del diseño del equipo y la prevención de chispas (Bartknecht 1989; Cesana y Siwek 1995).

Control de la explosión

Básicamente, son dos los métodos para controlar las explosiones o frentes de forma que no se propaguen de un lugar a otro o para contener las explosiones en un aparato: supresores químicos y válvulas de aislamiento (Bartknecht 1989; Cesana y Siwek 1995; Garzia y Senecal 1996). Sobre la base de los datos de la presión de la explosión obtenidos en las pruebas de gravedad de la explosión, se dispone de sensores de respuesta rápida que activarán un supresor químico o válvulas barrera de aislamiento de cierre rápido. Los supresores se encuentran en el mercado, pero

conviene recordar que el diseño del inyector del supresor es muy importante.

Parámetros débiles o discos de ruptura

En los equipos en los que existe un peligro de explosión se instalan con frecuencia orificios de liberación de las sobrepresiones explosivas que se activan a presiones específicas. Estos deben diseñarse cuidadosamente y debe definirse la vía de escape del equipo para prevenir la presencia del operario en esta zona. Asimismo, debe analizarse qué equipos van a verse afectados en el recorrido de la explosión, con el fin de garantizar su seguridad. Tal vez sea necesaria una barrera.

Carga y descarga

Los productos finales, los intermedios y los subproductos se cargan en camiones cisterna y vagones. (En algunos casos, en función de la situación de las instalaciones y los requisitos del muelle, se utilizan camiones tanque y remolques). Es importante la situación de las instalaciones de carga y descarga. Aunque los materiales cargados y descargados son habitualmente líquidos y gases, también se cargan y descargan sólidos en lugares preferentes en función del tipo de sólidos desplazados, el riesgo potencial de explosión y el grado de dificultad de la transferencia.

Escotillas abiertas.

Durante la carga de vagones cisterna o vagones a través de escotillas superiores abiertas, un aspecto muy importante es minimizar las salpicaduras al llenar el contenedor. Si la tubería de llenado se encuentra mucho más arriba del fondo del recipiente, se producen muchas salpicaduras y vapor o mezclas de líquido y vapor. Las salpicaduras y la generación de vapor pueden reducirse situando la salida de la tubería de llenado muy por debajo del nivel de líquido. La tubería de llenado normalmente se extiende a través del recipiente a una distancia mínima del fondo. Debido a que el llenado de líquido también desplaza vapor, los vapores tóxicos pueden entrañar un riesgo para la salud y suscitar preocupación en cuanto a la seguridad, por lo que deben recogerse. Se comercializan unos brazos de llenado con tuberías de llenado profundas y que se extienden a través de una cubierta especial que cierra la abertura de la escotilla (Lipton y Lynch 1994). Asimismo, una tubería de recolección de vapor se extiende a escasa distancia por debajo de la cubierta especial de la escotilla. En el extremo del brazo que recoge el flujo, la salida de vapor se conecta a un dispositivo de recuperación (p. ej., un absorbente o un condensador), o bien el vapor puede volver al tanque de almacenamiento como una transferencia de vapor de equilibrio (Lipton y Lynch 1994).

En el sistema de escotilla abierta del camión cisterna, el brazo se eleva para permitir el drenaje en el camión cisterna y parte del líquido del brazo puede presurizarse con nitrógeno al retirar el brazo, pero durante esta operación las tuberías de llenado deben permanecer dentro de la abertura de la escotilla. Cuando el brazo de llenado deja la escotilla, debe colocarse un cubo sobre la salida para recoger el goteo del brazo.

Vagones

Muchos vagones tienen escotillas cerradas con cañas de llenado muy próximas al fondo del recipiente y una salida independiente de recogida de vapor. El líquido se carga a través de un brazo que se extiende hacia la escotilla cerrada, y el vapor se recoge de forma similar al método del brazo de la escotilla abierta. En los sistemas de carga de vagones, después del cierre de la válvula en la entrada del brazo, se inyecta nitrógeno en la parte del recipiente de los brazos para impulsar el líquido remanente en el brazo dentro del vagón antes de que se cierre la válvula de llenado del vagón (Lipton y Lynch 1994).

Camiones cisterna

Muchos camiones cisterna se llenan a través del fondo para minimizar la generación de vapor (Lipton y Lynch 1994). Los conductos de llenado pueden ser mangueras especiales o brazos maniobrables. En su extremo y en las conexiones del fondo del camión cisterna se colocan acoplamientos secos. Cuando el vagón cisterna está lleno y el conducto se bloquea automáticamente, el brazo o la manguera se desconecta del acoplamiento, que automáticamente se cierra. Existen unos acoplamientos nuevos que se desconectan sin apenas fugas.

En la carga de fondo, el vapor se recoge mediante una válvula de vapor superior y se conduce a través de una línea externa que termina cerca del fondo del recipiente (Lipton y Lynch 1994). Esto permite que los trabajadores accedan a las conexiones del vapor. El vapor recogido, a una presión ligeramente superior a la atmosférica, debe ser recogido y enviado a un dispositivo de recuperación (Lipton y Lynch 1994). Estos dispositivos se eligen en función del coste inicial, la eficacia, el mantenimiento y la capacidad operativa. En general, es preferible el sistema de recuperación a una antorcha, que destruye los vapores recuperados.

Control de carga

En los camiones cisterna hay sensores de nivel instalados permanentemente en el cuerpo del camión que indican cuándo se ha alcanzado el nivel de llenado y envían una señal a una válvula de bloqueo de control remoto que detiene el flujo al camión. (Lipton y Lynch 1994). Puede haber más de un sensor en el camión cisterna para asegurar que éste no se ha llenado en exceso, ya que podría dar lugar a graves problemas de exposición para la salud y la seguridad.

Los vagones de los servicios químicos tienen a veces sensores de nivel montados internamente en el vehículo. En otros vagones, un medidor de flujo controla la cantidad de líquido enviada al vagón y automáticamente cierra la válvula de bloqueo de control remoto en un lugar determinado (Lipton y Lynch 1994). Deben investigarse ambos tipos de

contenedores para determinar si permanece líquido en el contenedor antes del llenado. Muchos vagones tienen indicadores de nivel manuales que se utilizan con este fin. No obstante, en los casos en que se indica el nivel mediante la apertura de un escape recto a la atmósfera, este procedimiento debe realizarse sólo en condiciones correctamente controladas y aprobadas debido a la toxicidad de algunas de las sustancias químicas cargadas.

Descarga

Si los productos químicos tienen una presión de vapor muy alta y el vagón o el camión cisterna tienen una presión relativamente alta, el producto químico se descarga por debajo de su propia presión de vapor. Si la presión de vapor cae hasta un nivel que dificulte el procedimiento de descarga, se inyecta gas nitrógeno para mantener una presión satisfactoria. Asimismo se puede comprimir e inyectar el vapor de un tanque del mismo producto químico para aumentar la temperatura.

En el caso de productos químicos tóxicos con una presión de vapor relativamente baja, como el benceno, el líquido se descarga bajo presión de nitrógeno, lo que elimina el bombeo y simplifica el sistema (Lipton y Lynch 1994). Los camiones cisterna y los vagones para este servicio están diseñados para resistir las presiones y variaciones soportadas. No obstante, después de descargar un contenedor se mantienen presiones más bajas hasta que el camión cisterna o el vagón se vuelve a llenar; la presión se crea de nuevo durante la carga. Se puede añadir nitrógeno si no se ha conseguido una suficiente presión durante la carga.

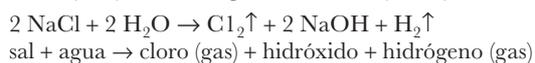
Uno de los problemas de las operaciones de carga y descarga es las líneas de drenaje y de purga y el equipo en las instalaciones de carga y descarga. Se necesitan drenajes cerrados y en particular drenajes de punto bajo con purgas de nitrógeno para eliminar todas las trazas de productos químicos tóxicos. Estos materiales pueden recogerse en un tambor y trasladarse a una instalación receptora o de recuperación (Lipton y Lynch 1994).

EJEMPLOS DE OPERACIONES DE TRATAMIENTO DE PRODUCTOS QUIMICOS

● PRODUCCION DE CLORO Y CAUSTICOS

The Chlorine Institute, Inc.

La electrólisis de sal da lugar a la formación de cloro y un hidróxido. El cloruro sódico (NaCl) es la principal sal utilizada; produce sosa cáustica (NaOH). No obstante, si se utiliza cloruro potásico (KCl) se obtiene potasa cáustica (KOH).



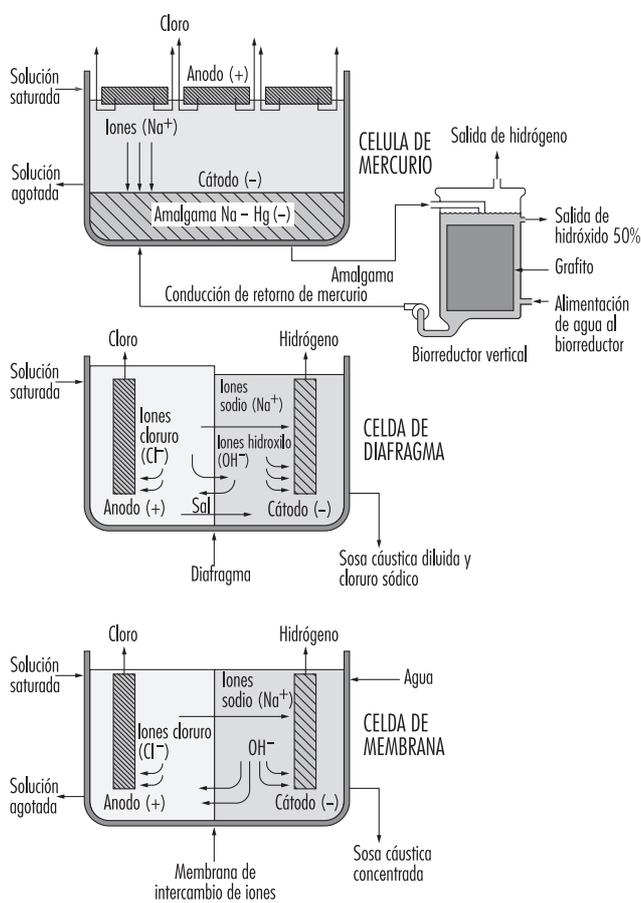
Actualmente, el proceso en celda de diafragma es el más utilizado para la producción comercial de cloro, seguido del proceso en celda de mercurio y del proceso en celda de membrana. Debido a aspectos económicos, ambientales y de calidad del producto, los fabricantes prefieren ahora el de membrana para las nuevas instalaciones de producción.

El proceso en celda de diafragma

En la celda de diafragma (véase Figura 77.4) se introduce una solución saturada de sal en un compartimiento que contiene un

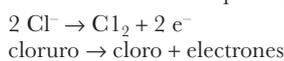
ánodo de titanio revestido de sales de rutenio u otros metales. Un colector de plástico recoge el gas cloro húmedo caliente producido en este ánodo. La succión por un compresor lleva el cloro a un colector para su posterior tratamiento, consistente en enfriado, secado y compresión. El agua y la sal sin reaccionar percolan a través de un separador de diafragma poroso en el compartimiento del cátodo en el que el agua reacciona en un cátodo de acero y produce hidróxido sódico (sosa cáustica) e hidrógeno. El diafragma mantiene separados el cloro producido en el ánodo del hidróxido sódico y el hidrógeno producidos en el cátodo. Si estos productos se combinan, el resultado es hipoclorito sódico (lejía) o clorato sódico. Los productores comerciales de clorato sódico utilizan celdas que no tienen separadores. El diafragma más habitual es un compuesto de amianto y un polímero fluorocarbonado. Las plantas modernas de celdas de diafragma no presentan los problemas de salud y ambientales asociados tradicionalmente al uso de los diafragmas de amianto. Algunas plantas emplean diafragmas sin amianto, comercializados ahora. El proceso en celda de diafragma produce una solución diluida de hidróxido sódico que contiene sal sin reaccionar. Un proceso de evaporación adicional concentra el hidróxido y elimina la mayor parte de la sal para preparar un hidróxido de calidad comercial.

Figura 77.4 • Tipos de procesos en celdas de cloruros alcalinos.



El proceso en celda de mercurio

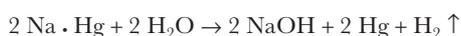
Una celda de mercurio consta realmente de dos celdas electroquímicas. La reacción en la primera celda en el ánodo es:



La reacción en la primera celda en el cátodo es:



La disolución de sal fluye en un canal de acero inclinado con lados revestidos de caucho (véase Figura 77.4). El cátodo de mercurio fluye bajo la disolución de sal. Los ánodos de titanio revestido están suspendidos en la sal para la producción de cloro, que sale de la celda a un sistema de recolección y tratamiento. El sodio se electrolyza en la celda y deja la primera celda amalgamado con el mercurio. Esta amalgama fluye a una segunda celda electroquímica llamada *decomposer*, que tiene grafito como cátodo y amalgama como ánodo. La reacción que en él se produce es:



El proceso en celda de mercurio produce NaOH comercial (50 %) directamente en la celda.

El proceso en celda de membrana

En una celda de membrana las reacciones electroquímicas son las mismas que en la celda de diafragma. Se utiliza una membrana

de intercambio de cationes en lugar del diafragma poroso (véase Figura 77.4). Esta membrana previene la migración de los iones cloruro hacia el cátodo, produciendo así esencialmente hidróxido del 30 al 35 % exento de sal, directamente en la celda. La eliminación de la necesidad de retirar la sal hace que la evaporación de la solución alcalina para llegar a la concentración comercial del 50 % sea más sencilla, y requiere menos inversiones y energía. En la celda de membrana se utiliza como cátodo níquel, muy caro, debido a la mayor agresividad del álcali.

Riesgos para la seguridad y la salud

A temperaturas ordinarias el cloro seco, en forma de líquido o de gas, no corroe el acero. El cloro húmedo es altamente corrosivo debido a que forma ácidos clorhídrico e hipocloroso. Deben adoptarse precauciones para mantener seco el cloro y el equipo que lo contiene. Deben cerrarse o taparse tuberías, válvulas y recipientes cuando no se utilicen, para protegerlos de la humedad atmosférica. Si se utiliza agua en una fuga de cloro las condiciones corrosivas resultantes empeorarán dicha fuga.

El volumen de cloro líquido aumenta con la temperatura. Deben adoptarse precauciones para evitar la ruptura hidrostática de las tuberías, los recipientes, los contenedores u otros equipos llenos de cloro líquido.

El hidrógeno es un producto secundario de todo proceso de fabricación de cloro mediante la electrólisis de soluciones acuosas de sal. En un intervalo de concentraciones las mezclas de cloro e hidrógeno son inflamables y potencialmente explosivas. La reacción de cloro e hidrógeno puede iniciarse por luz solar directa, otras fuentes de luz ultravioleta, electricidad estática o un impacto fuerte.

En la fabricación de cloro es posible que se produzcan pequeñas cantidades de tricloruro de nitrógeno, un compuesto inestable y altamente explosivo. Cuando se evapora el cloro líquido que contiene tricloruro de nitrógeno, éste puede alcanzar concentraciones peligrosas en el cloro líquido remanente.

El cloro reacciona, a veces explosivamente, con diversos materiales orgánicos, como aceite o grasa, procedentes de compresores de aire, válvulas, bombas e instrumentos de diafragma con aceite, así como madera y alfombrillas usadas en los trabajos de mantenimiento.

En cuanto exista alguna indicación de escape de cloro, deben tomarse ciertas medidas inmediatas para corregir la situación. Las fugas de cloro siempre empeoran si no se corrigen rápidamente. Cuando se produce una fuga de cloro, el personal autorizado y capacitado, equipado con equipo de protección personal (EPP) respiratorio y de otro tipo, debe investigar y adoptar las medidas oportunas. Estas personas no deben entrar en atmósferas que contengan concentraciones de cloro superiores a la concentración inmediatamente peligrosa para la vida y la salud (IPVS) (10 ppm) sin un equipo de protección personal adecuado y personal de apoyo. El personal innecesario debe mantenerse apartado y el área de riesgo aislarse. Las personas posiblemente afectadas por un escape de cloro deben ser evacuadas o protegidas en el lugar, según lo requieran las circunstancias.

Los monitores de cloro y los indicadores de dirección del viento del área pueden proporcionar información oportuna (p. ej., vías de escape) para ayudar a determinar si el personal debe ser evacuado o protegido en el lugar.

En caso de evacuación, las personas con riesgo de exposición deben situarse en un lugar en dirección opuesta a la fuga. Dado que el cloro es más pesado que el aire, es preferible que el lugar esté alto. Para escapar cuanto antes, las personas que ya se encuentren en el área contaminada deben avanzar con el viento de costado.

Si se opta por permanecer y protegerse en el mismo edificio, se cerrarán todas las ventanas, puertas y otras aberturas, así como los acondicionadores de aire y los sistemas de entrada de aire. El personal debe situarse en la parte del edificio más lejana al escape y siempre con una vía de escape cercana. Conviene recordar, igualmente, que es posible que cualquier posición segura pase a ser peligrosa si cambia la dirección del viento, o en caso de que se produzcan nuevas fugas o que la ya existente aumente.

Si existe fuego o éste es inminente, los contenedores de cloro y el equipo deben alejarse del fuego, si es posible. Si un contenedor o equipo sin fugas no puede moverse, debe mantenerse frío aplicando agua. No debe utilizarse directamente agua sobre una fuga de cloro. El agua y el cloro reaccionan formando ácidos, y la fuga empeorará rápidamente. No obstante, en los casos en que se vean implicados varios contenedores y algunos tengan fugas, tal vez convenga utilizar un pulverizador de agua para prevenir la sobrepresión de los contenedores sin fugas.

Siempre que los contenedores hayan estado expuestos a llamas, debe aplicarse agua fría hasta mucho después de que el incendio se haya extinguido y los contenedores se hayan enfriado. Los contenedores expuestos al fuego deben aislarse, y se informará cuanto antes al proveedor.

Las soluciones de hidróxido sódico son corrosivas, sobre todo si son concentradas. Los trabajadores con riesgo de exposición a vertidos y fugas deben llevar guantes, mascarillas y gafas y otras ropas protectoras.

Agradecimientos: Agradecemos al Dr. R.G. Smerko su colaboración al haber puesto a nuestra disposición los recursos del Chlorine Institute, Inc.

● FABRICACION DE PINTURAS Y REVESTIMIENTOS

*Michael McCam**

Se agrupan bajo los términos pinturas y revestimientos a las pinturas, barnices, lacas, colorantes, tintas para impresión y otros productos. Las pinturas tradicionales consisten en una dispersión de partículas de pigmentos en un vehículo formado por un agente reticulante o un secante (un aceite o una resina, por lo común) y un diluyente (por lo general, un disolvente volátil). Asimismo puede contener una gran variedad de cargas y otros aditivos. Un barniz es una solución de aceite y resina natural en un disolvente orgánico. También se utilizan resinas sintéticas. Las lacas son revestimientos en los que la película se seca o endurece completamente por evaporación del disolvente.

Las pinturas tradicionales constaban de menos de un 70 % de sólidos y el resto eran en su mayor parte disolventes. A raíz de las normas sobre contaminación atmosférica que limitan la cantidad de disolventes que pueden ser emitidos a la atmósfera, se han elaborado múltiples tipos de pinturas con poco o ningún disolvente orgánico. Entre éstas se encuentran: pinturas de látex a base de agua; pinturas catalizadas mixtas (p. ej., sistemas epoxi y uretano); pinturas con alto contenido en sólidos (más del 70 % de sólidos), incluidas las pinturas plastisol formadas principalmente por pigmentos y plastificantes; pinturas curadas con radiaciones; y revestimientos de pintura en polvo.

Según el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH 1984), de Estados Unidos, aproximadamente el 60 % de los fabricantes de pinturas empleaban menos de 20 trabajadores, y solamente un 3 % tenía más de 250 trabajadores. Es posible que estas estadísticas sean representativas de

*Adaptado de NIOSH 1984.

los fabricantes de pinturas en todo el mundo. Esto indica el predominio de las pequeñas empresas, muchas de las cuales no disponen de expertos internos en salud y seguridad.

Procesos de fabricación

En general, la fabricación de pinturas y otros revestimientos consiste en una serie de operaciones unitarias en las que se emplean procesos discontinuos. Las reacciones químicas son pocas o ninguna; las operaciones son en su mayoría mecánicas. La fabricación implica la reunión de las materias primas, el mezclado, la dispersión, la dilución y el afinado, llenado de recipientes y almacenamiento.

Pinturas

Las materias primas utilizadas para fabricar pinturas se encuentran en forma de líquidos, sólidos, polvos, pastas y suspensiones. Se pesan manualmente y se mezclan. Las partículas aglomeradas de pigmento deben disgregarse al tamaño original, y humectarse con aglutinante para asegurar la dispersión en la matriz líquida. Este proceso de dispersión, llamado molienda, se realiza con distintos tipos de equipos, incluidos dispersadores con eje motriz de alta velocidad, mezcladores de sólidos, molinos de bolas, molinos de arena, molinos de tres rodillos, trituradores, etc. Después de un tratamiento inicial, que puede durar hasta 48 horas, se añade resina a la pasta y se repite el proceso de molienda durante un período más corto. El material disperso se transfiere después por gravedad a un tanque de decantación en el que se pueden añadir otros materiales como colorantes. En el caso de pinturas a base de agua el aglutinante se añade en esta etapa. Después se diluye la pasta con resina o disolvente, se filtra y se transfiere de nuevo por gravedad al área de llenado de envases, que se realiza manual o mecánicamente.

Después del proceso de dispersión puede ser necesario limpiar los tanques y los molinos antes de introducir un nuevo lote. En esta etapa se utilizan herramientas manuales y eléctricas, así como limpiadores alcalinos y disolventes.

Lacas

La producción de lacas se realiza habitualmente en equipos cerrados como tanques y mezcladores, con el fin de minimizar la evaporación del disolvente, lo que podría causar el depósito de una película de laca seca sobre el equipo de procesado. Por lo demás, la producción de laca tiene lugar de la misma forma que la producción de pintura.

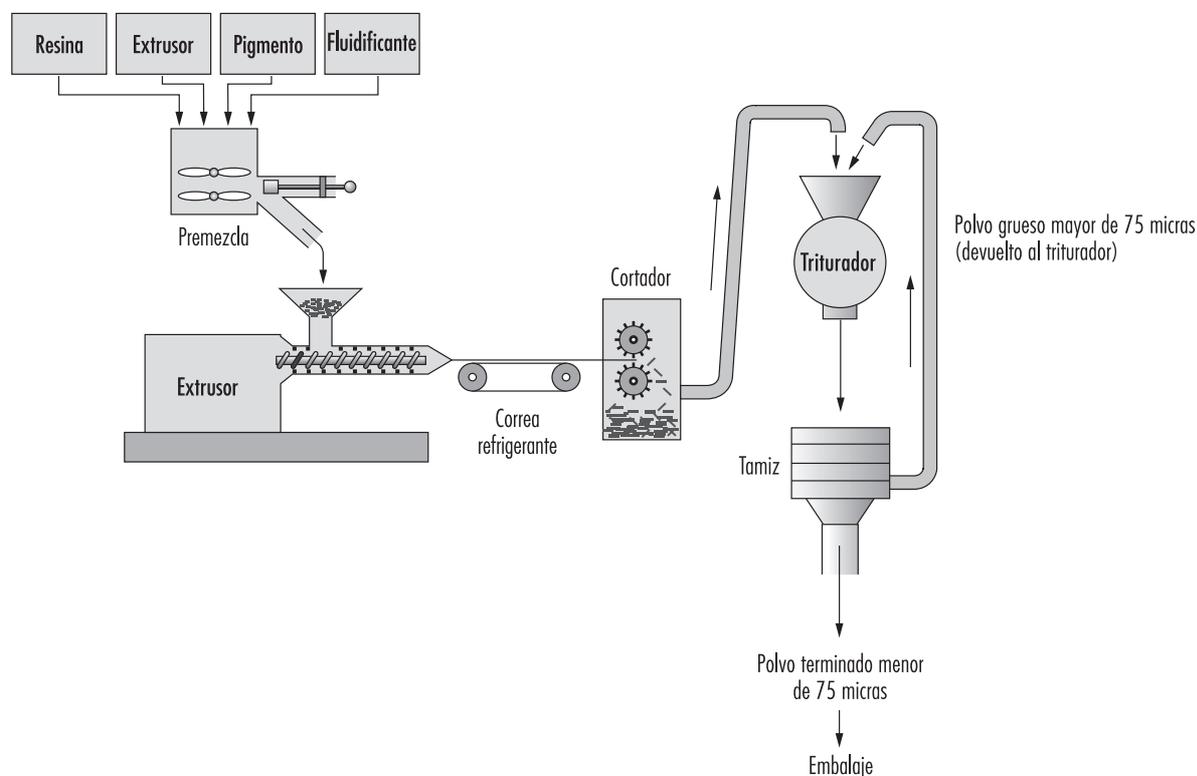
Barnices

En la fabricación de barnices de oleoresinas se calientan el aceite y la resina para hacerlos más compatibles, desarrollar moléculas o polímeros de alto peso molecular y aumentar la solubilidad en el disolvente. Las plantas antiguas utilizan recipientes portátiles y abiertos para el calentamiento. Se añaden a éstos la resina y el aceite o la resina sola y después se calientan a aproximadamente 316 °C. Las resinas naturales se deben calentar antes de añadir los aceites. Los materiales se vacían por la parte superior del recipiente. Durante el calentamiento, se cubren con campanas de extracción refractarias. Después se trasladan a salas en las que se enfrían rápidamente, a menudo por rociado con agua, y después se añaden el diluyente y los secantes.

En las plantas modernas se utilizan grandes reactores cerrados con capacidades de 500 a 8.000 galones. Estos reactores son similares a los utilizados en la industria de procesos químicos. Están provistos de agitadores, mirillas, tuberías para llenar y vaciar los reactores, condensadores, dispositivos de medición de la temperatura, fuentes de calor, etc.

Tanto en las plantas antiguas como en las modernas, la resina diluida se filtra en una etapa final antes del envasado. Esto se

Figura 77.5 • Diagrama de flujo para la fabricación de revestimientos de polvo por el método de fusión y extrusión-mezcla.



realiza normalmente cuando la resina aún está caliente, utilizando un filtro prensa.

Revestimientos en polvo

Los revestimientos en polvo son productos sin disolventes basados en la fusión de resinas y otras partículas de aditivos sobre las superficies de objetos calientes. Los revestimientos en polvo pueden ser termoestables o termoplásticos e incluyen resinas de tipo epoxi, polietileno, poliéster, cloruro de polivinilo y acrílicas.

El método más habitual de fabricación consiste en la mezcla en seco de los ingredientes pulverulentos y el mezclado por fusión y extrusión (véase Figura 77.5). Se pesan la resina seca o el aglutinante, el pigmento, el material de carga y los aditivos y se transfieren a un mezclador. Este proceso es similar a las operaciones de mezclado en seco en la fabricación de caucho. Después del mezclado, el material se coloca en un extrusor y se calienta hasta que se funde. El material fundido se extruye sobre una correa transportadora refrigerante y después se transfiere a un granulador. El granulado se pasa a través de un molino fino y se tamiza para obtener el tamaño de partícula deseado. Por último el revestimiento en polvo se envasa.

Riesgos y su prevención

En general, los principales riesgos asociados con la fabricación de pintura y revestimientos supone la manipulación de materiales, que pueden ser sustancias tóxicas, inflamables o explosivas; y agentes físicos como descargas eléctricas, ruido, calor y frío.

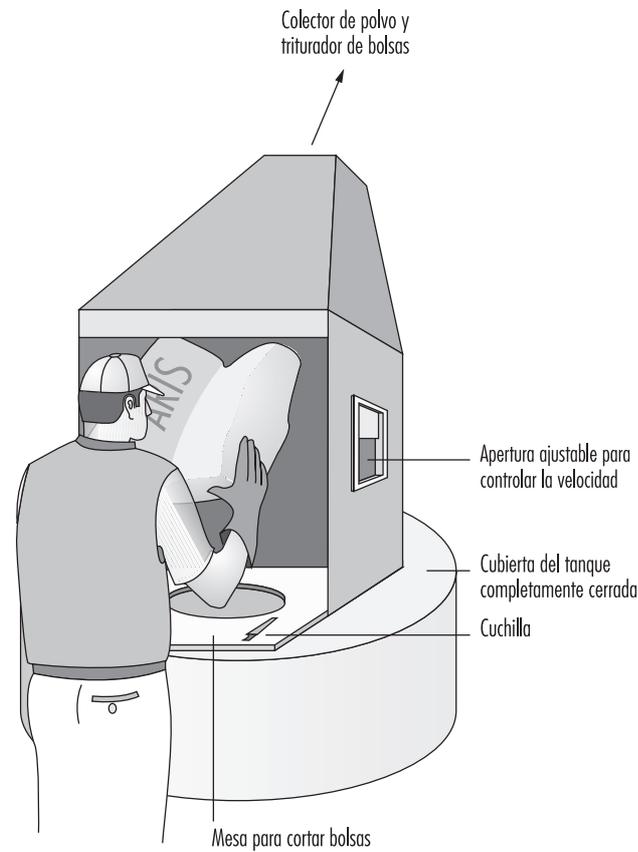
La manipulación manual de cajas, barriles, recipientes, etc., que contienen las materias primas y los productos terminados, es la principal fuente de lesiones debido a la elevación incorrecta, deslizamientos, caídas, goteo de recipientes, etc. Las precauciones incluyen controles técnicos y ergonómicos tales como

medios auxiliares para manipulación de materiales (rodillos, gatos y plataformas) y equipos mecánicos (transportadores, montacargas y elevadores-transportadores de horquilla), suelos antideslizantes, equipo de protección personal (EPP) como zapatos de seguridad y la formación adecuada en la elevación manual y otras técnicas de manipulación de materiales.

Los riegos químicos incluyen la exposición a polvos tóxicos como pigmento de cromato de plomo, que puede presentarse durante la pesada, el llenado del mezclador y las tolvas del molino, las operaciones con equipos abiertos, el llenado de recipientes de pinturas en polvo y la limpieza del equipo y de los vertidos de los recipientes. La fabricación de revestimientos en polvo ocasiona a veces altas exposiciones al polvo. Las precauciones a adoptar son la sustitución de polvo por pasta o suspensiones; la ventilación por extracción localizada (LEV) para la abertura de bolsas y sacos (véase Figura 77.6) y para el equipo de proceso, el cierre del equipo, los procedimientos de limpieza de vertidos y la protección respiratoria cuando sea necesaria.

En la fabricación de pinturas y revestimientos se utilizan diversos disolventes volátiles, entre ellos hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, cetonas, etc. Los disolventes más volátiles se encuentran normalmente en lacas y barnices. La exposición a los vapores de disolvente se puede producir durante la dilución en la fabricación de pinturas a base de disolventes; mientras se cargan los recipientes de reacción (especialmente los tipos más antiguos de recipientes) en la fabricación de barnices; durante el llenado de los envases con cualquier revestimiento a base de disolventes; y durante la limpieza manual del equipo de proceso con disolventes. El cerramiento de equipos como los reactores de barnices y los mezcladores de lacas normalmente implica menos exposición a los disolventes, excepto en caso de fugas. Las protecciones son el cerramiento de los equipos de

Figura 77.6 • Sistema de control de polvo.



Fuente: adaptado de NIOSH 1984.

proceso, LEV para la dilución y el llenado de los envases y protección respiratoria y procedimientos de trabajo en espacios confinados aplicables a la limpieza de reactores.

Otros riesgos para la salud incluyen la inhalación o contacto de la piel con isocianatos, utilizados en la fabricación de pinturas y revestimientos de poliuretano; con acrilatos, otros monómeros y fotoiniciadores utilizados en la fabricación de revestimientos curados por radiación; con acroleína y otras emisiones gaseosas del calentamiento de los barnices; y con agentes endurecedores y otros aditivos en los revestimientos en polvo. Algunas protecciones son el cerramiento, LEV, guantes y otras ropas y equipos de protección personal, formación respecto a materiales peligrosos y buenas prácticas de trabajo.

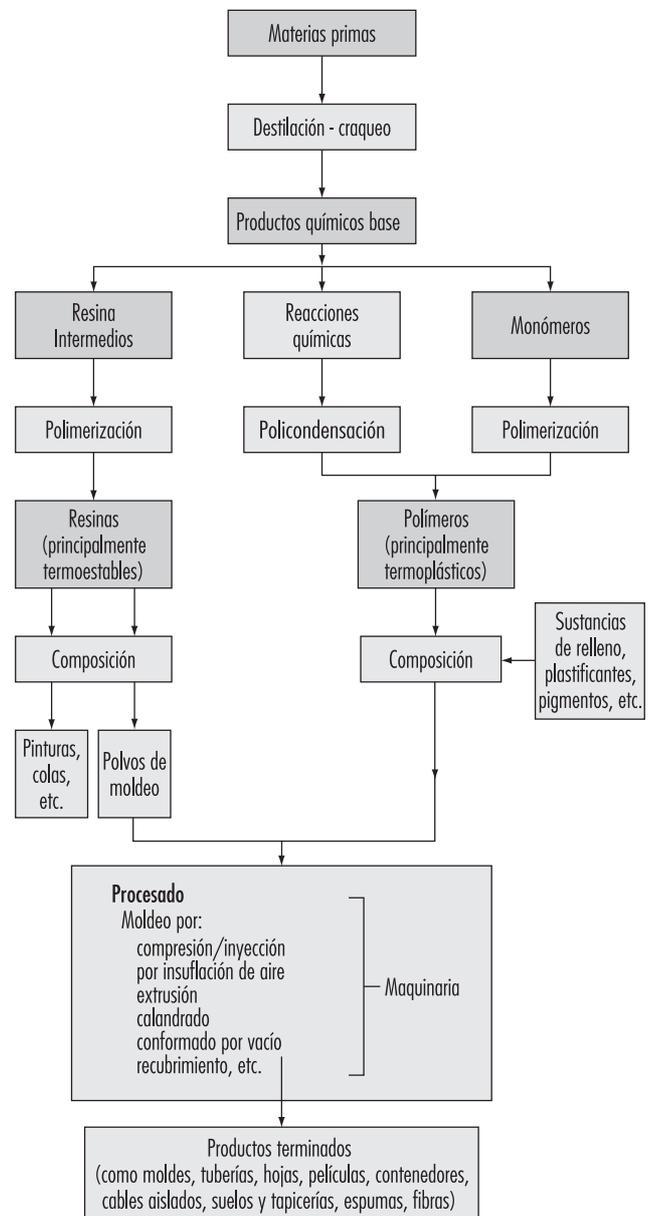
Los disolventes inflamables, los polvos combustibles (especialmente nitrocelulosa utilizada en la producción de lacas) y los aceites tienen riesgo de explosión o incendio si se inflaman por una chispa o altas temperaturas. Las fuentes de ignición pueden ser un equipo eléctrico defectuoso, fumar, fricciones, llamas abiertas, electricidad estática, etc. Las alfombrillas empapadas de aceite originan a veces combustiones espontáneas. Las precauciones recomendadas son la conexión a tierra de los recipientes al transferir líquidos inflamables, y de equipos como molinos de bolas que contienen polvos combustibles, la ventilación para mantener la concentración de vapor por debajo del límite inferior de inflamabilidad, la cobertura de los contenedores fuera de uso, la eliminación de las fuentes de ignición, la utilización de herramientas antichispa de metales no ferrosos en

proximidad de materiales inflamables o combustibles y las buenas prácticas en las operaciones de mantenimiento.

Los riesgos de ruido se pueden asociar al uso de molinos de bolas y martillos, dispersadores de alta velocidad, tamices vibradores utilizados para el filtrado, etc. Las medidas de precaución son aislantes de vibración y otros controles técnicos, la sustitución del equipo ruidoso, un buen mantenimiento del equipo, el aislamiento de la fuente de ruido y un programa de conservación de audición cuando el ruido sea excesivo.

Entre otros riesgos se encuentra la protección inadecuada de las máquinas, que es una causa frecuente de lesiones ocasionadas por la maquinaria. Los riesgos eléctricos son un problema particular si no existe un programa de enclavamiento y desconexión para el mantenimiento y la reparación del equipo. Se pueden producir quemaduras debido a los recipientes de

Figura 77.7 • Secuencia de producción en el proceso de plásticos.



calentamiento de los barnices y a las salpicaduras de los materiales y a causa de las colas fundidas calientes utilizadas para envases y etiquetas.

● INDUSTRIA DEL PLASTICO

*P.K. Law y T.J. Britton**

La industria del plástico se divide en dos sectores principales, cuya relación se representa en la Figura 77.7. El primer sector incluye los proveedores de materias primas que fabrican polímeros y compuestos de moldeo a partir de productos intermedios que ellos mismos pueden haber producido. En términos de capital invertido este es normalmente el mayor de los dos sectores. El segundo sector consta de manipuladores que convierten las materias primas en artículos vendibles utilizando diversos procesos como moldeo por extrusión e inyección. Otros sectores incluyen los fabricantes de maquinaria que proporcionan equipos a los manipuladores y proveedores de aditivos especiales para el uso en la industria.

Fabricación de polímeros

Los materiales plásticos se clasifican en dos grandes categorías: materiales termoplásticos, que se pueden ablandar repetidamente mediante la aplicación de calor y materiales termoestables, que experimentan un cambio químico cuando se calientan y moldean y no se pueden transformar posteriormente mediante la aplicación de calor. Es posible fabricar varios cientos de polímeros individuales con propiedades muy variables, pero menos de 20 tipos constituyen el 90 % de toda la producción mundial. El mayor grupo es el de los termoplásticos, aumentando su producción a una velocidad mayor que la de los termoestables. En términos de cantidad de producción los termoplásticos más importantes son polietileno y polipropileno de alta y baja densidad (las poliolefinas), el cloruro de polivinilo (PVC) y el poliestireno.

Algunas resinas importantes del grupo termoestable son fenol-formaldehído y urea-formaldehído, ambas en forma de resinas y polvo para moldeo. También son destacables las resinas epoxi, los poliésteres insaturados y los poliuretanos. Un volumen menor de "plásticos técnicos", por ejemplo poliacetatos, poliamidas y policarbonatos, tienen un gran valor en aplicaciones específicas.

La considerable expansión de la industria de los plásticos después de la Segunda Guerra Mundial estuvo facilitada por el aumento en la oferta de materias primas básicas disponibles; esta disponibilidad y el precio de las materias primas son decisivos para cualquier industria en rápido crecimiento. Las materias primas tradicionales no podrían haber proporcionado productos químicos intermedios en cantidades suficientes a un coste aceptable para facilitar la producción comercial económica de toneladas de materiales plásticos; fue el desarrollo de la industria petroquímica lo que hizo posible este desarrollo. El petróleo, como materia prima, es abundante, fácil de transportar y manipular y hasta la crisis del decenio de 1970 era relativamente barato. Por consiguiente, en todo el mundo la industria de los plásticos está vinculada en primer lugar a la utilización de productos intermedios obtenidos del craqueo del petróleo y a partir del gas natural. Las materias primas no convencionales como biomasa y carbón aún no han tenido un impacto importante en el suministro a la industria de los plásticos.

El diagrama de flujo de la Figura 77.8 ilustra la versatilidad del petróleo crudo y del gas natural como puntos de partida

Adaptado de la tercera edición, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*.

para los importantes materiales termoestables y termoplásticos. Después de los primeros procesos de destilación del petróleo crudo, la materia prima nafta se craquea o reforma para obtener productos intermedios útiles. El etileno producido por el proceso de craqueo tiene aplicación inmediata en la fabricación de polietileno o en otro proceso del que se obtiene un monómero, el cloruro de vinilo, la base del PVC. El propileno, también obtenido durante el proceso de craqueo, se utiliza vía cumeno o vía isopropilalcohol para la fabricación de acetona, necesaria para el polimetilmetacrilato; también se utiliza en la fabricación de óxido de propileno para resinas de poliéster o poliéter y de nuevo puede polimerizarse directamente a polipropileno. Los butenos se utilizan en la fabricación de plastificantes y el 1,3-butadieno se utiliza directamente para la fabricación de caucho sintético. Los hidrocarburos aromáticos como benceno, tolueno y xileno se producen ahora principalmente a partir de derivados de la destilación del petróleo, en lugar de obtenerse a partir de procesos de coquificado de carbón; como se observa en el diagrama de flujo, estos son productos intermedios en la fabricación de los materiales plásticos más importantes y de los productos auxiliares como los plastificantes. Los hidrocarburos aromáticos son también un punto de partida para muchos polímeros requeridos por la industria de las fibras sintéticas, algunas de las cuales se comentan en otros lugares de esta *Enciclopedia*.

Son muchos, y muy diferentes entre sí, los procesos que contribuyen a la producción final de un artículo terminado hecho total o parcialmente de plástico. Unos procesos son puramente químicos, algunos implican procedimientos de mezclado puramente mecánicos mientras que otros, en particular aquellos hacia el extremo inferior del diagrama, implican el uso de maquinaria especializada. Algunas de estas máquinas son semejantes a las utilizadas en las industrias de caucho, vidrio, papel y textiles; las restantes son específicas de la industria de los plásticos.

Procesado de plásticos

La industria de proceso de plásticos convierte material polimérico a granel en artículos terminados.

Materias primas

La unidad de proceso de la industria del plástico recibe sus materias primas para la producción en las formas siguientes:

- material polimérico completamente formulado, en forma de pellets, gránulos o polvo, que se introduce directamente en las máquinas para su procesamiento
- polímeros no formulados, en forma de gránulos o polvo, que deben ser mezclados con aditivos antes de introducirlos en la maquinaria
- materiales en forma de hojas, rodillos, tubos y láminas poliméricos, que son sometidos a posteriores procesos en la industria
- otros materiales, que pueden ser totalmente polimerizados en forma de suspensiones o emulsiones (conocidos generalmente como dispersiones poliméricas) o líquidos o sólidos que pueden polimerizarse, o sustancias en un estado intermedio entre las materias primas reactivas y el polímero final. Algunos de estos son líquidos y algunos soluciones verdaderas de materiales parcialmente polimerizados en agua de acidez controlada (pH) o en disolventes inorgánicos.

Formulación

La fabricación de compuestos a partir de polímeros implica la mezcla del polímero con aditivos. A pesar de la gran variedad de maquinaria utilizada con este fin, cuando se manejan polvos, los molinos de bolas o los agitadores de paletas de alta velocidad son los más habituales, y al mezclar masas de plástico normalmente

Figura 77.8 • Esquema que ilustra la versatilidad de la producción, a partir de fracciones del petróleo, de materias primas en la fabricación de diversos tipos de plástico.

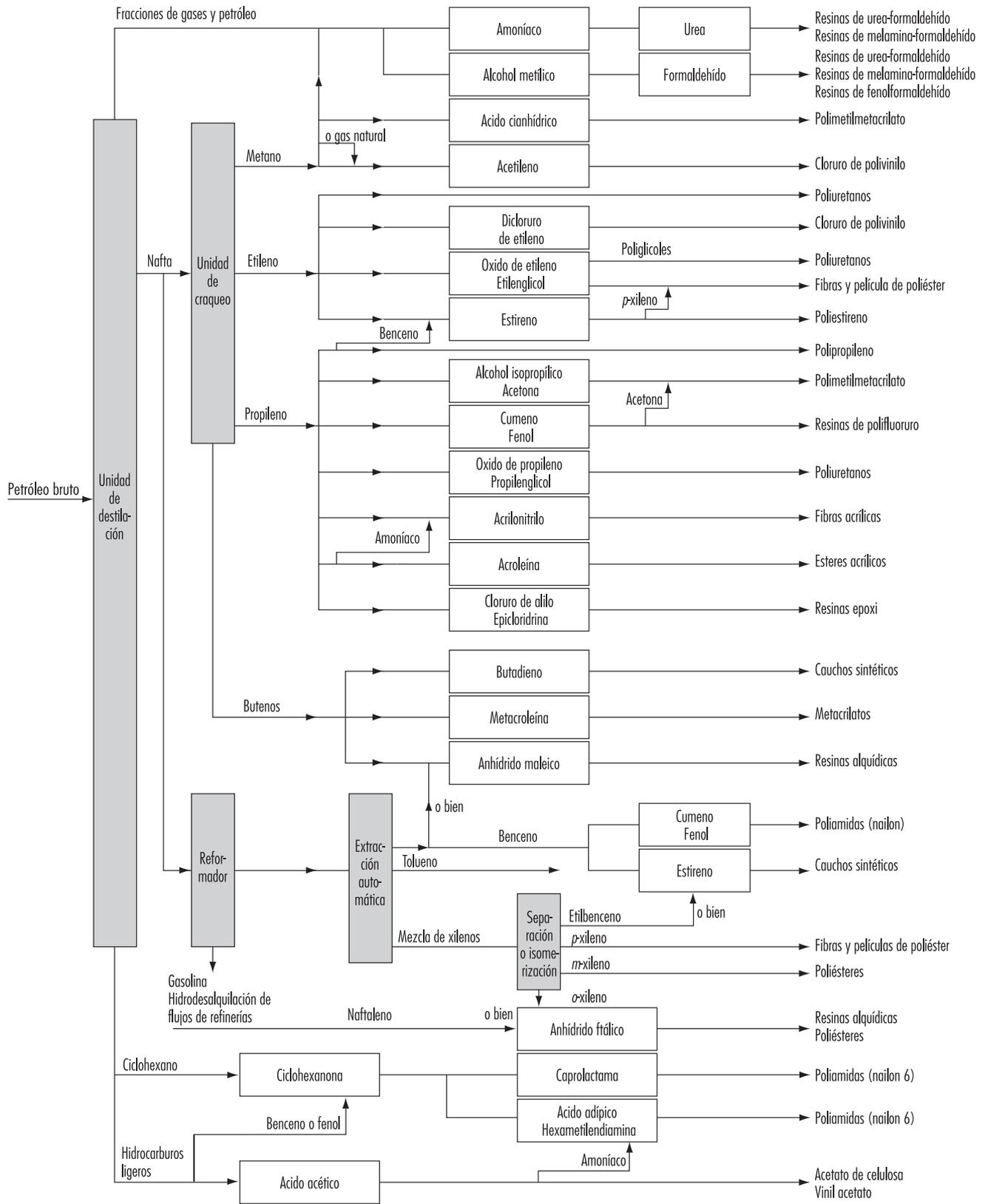


Figura 77.9 • Técnico sacando un recipiente de polipropileno de una máquina de moldeo por inyección.



se utilizan máquinas mezcladoras tales como los de cilindros o mezcladores de tipo Banbury, o extrusores.

Los aditivos requeridos por la industria son muchos y de tipos químicos muy variados. De unas 20 clases, los más importantes son:

- plastificantes, generalmente ésteres de baja volatilidad
- antioxidantes, productos químicos orgánicos para proteger frente a la descomposición térmica durante el tratamiento
- estabilizantes, productos químicos inorgánicos u orgánicos para proteger frente a la descomposición térmica y frente a la degradación por energía radiante
- lubricantes
- materiales de carga, sustancias baratas que dan propiedades especiales o abaratan las composiciones
- colorantes, sustancias orgánicas o inorgánicas para teñir los compuestos
- agentes de espumación, gases o productos químicos que emiten gases para producir espumas plásticas

Procesos de conversión

Todos los procesos de conversión se basan en el fenómeno “plástico” de los materiales poliméricos y se clasifican en dos tipos. En primer lugar, aquellos en los que el polímero se lleva mediante calentamiento a un estado plástico en el que se aplica una constricción mecánica que da lugar a una forma que retiene al consolidarse y enfriarse. En segundo lugar, aquellos en los que un material polimerizable, que puede estar parcialmente polimerizado, se polimeriza totalmente por la acción del calor, de un catalizador o de ambos conjuntamente, bajo una constricción mecánica que permite obtener una forma que retiene cuando está completamente polimerizado y frío. La tecnología de los plásticos se ha desarrollado para explotar estas propiedades y producir artículos muy consistentes con un esfuerzo humano mínimo. Los procesos siguientes se utilizan habitualmente.

Moldeo por compresión

Consiste en calentar el material plástico, que puede estar en forma de gránulos o polvo, en un molde sostenido en una prensa. Cuando el material se hace “plástico”, la presión lo fuerza a adoptar la forma del molde. Si el plástico es del tipo que se endurece al calentar, el artículo formado se retira después de un corto período de calentamiento abriendo la prensa. Si el plástico no se endurece al calentar, debe enfriarse antes de abrir la prensa. Algunos artículos fabricados mediante moldeo por compresión son tapones de botellas, cierres de jarras, clavijas y enchufes eléctricos, asientos de sanitarios, bandejas y artículos de fantasía. El moldeo por compresión se utiliza también para fabricar láminas para su moldeo subsiguiente en el proceso de conformado por vacío o para la fabricación de tanques y grandes contenedores mediante soldadura o revestimiento de los tanques de metal existentes.

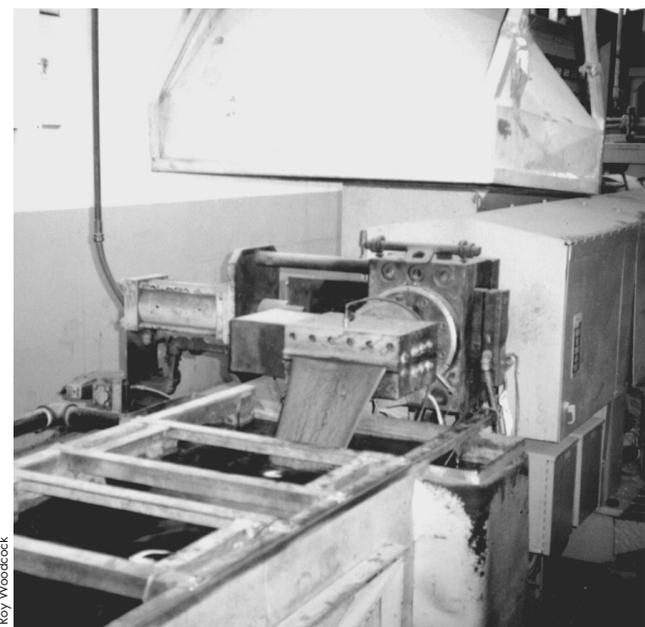
Moldeo a presión

Es una modificación del moldeo por compresión. El material termoestable se calienta en una cavidad y después se introduce mediante un pistón en un molde que está físicamente separado y calentado independientemente de la cavidad de calefacción. Este método se prefiere al moldeo por compresión cuando el artículo final tiene que llevar insertos metálicos delicados, como un pequeño conmutador eléctrico o cuando, como en los objetos muy gruesos, la reacción química no se completa mediante el moldeo por compresión normal.

Moldeo por inyección

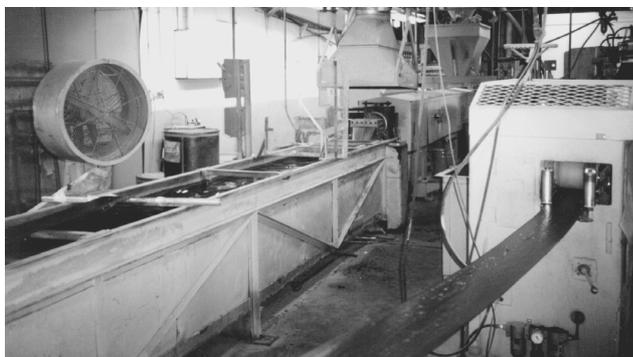
En este proceso los gránulos o polvos de plástico se calientan en un cilindro (conocido como husillo) que está separado del molde. El material se calienta hasta que se hace fluido mientras se transporta por el husillo mediante un tornillo helicoidal y después se empuja al molde donde se enfría y endurece. Después el molde se abre mecánicamente y se sacan los artículos formados (véase la Figura 77.9). Este proceso es uno de los más importantes en la

Figura 77.10 • Extrusión de plástico: la cinta se parte con el fin de hacer pastillas para las máquinas de moldeo por inyección.



Rey Woodcock

Figura 77.11 • Extrusión de plástico con campana de extracción local y baño de agua en el cabezal del extrusor.



Roy Woodcock

industria de plásticos. Se ha desarrollado extensamente y ha conseguido fabricar artículos muy complejos a un coste muy bajo.

Aunque el moldeo a presión y por inyección son en principio idénticos, la maquinaria empleada es muy diferente. El moldeo a presión está restringido normalmente a materiales termoendurecidos y el moldeo por inyección a termoplásticos.

Extrusión

Este es un proceso en el que una máquina ablanda un plástico y lo hace pasar a través de un troquel que le da la forma que retiene al enfriarse. Los productos de la extrusión son tubos o rodillos que pueden tener secciones transversales con prácticamente cualquier configuración (véase la Figura 77.10). Los tubos para usos industriales o domésticos se producen de esta forma, pero es posible preparar otros artículos mediante procesos secundarios. Por ejemplo, se pueden preparar bolsitas cortando tubos y sellando ambos extremos, y bolsas a partir de tubos flexibles de pared fina cortando y sellando un extremo.

El proceso de extrusión es de dos tipos. En uno se produce una hoja plana. Esta hoja se puede convertir en artículos útiles mediante otros procesos, como el conformado por vacío.

El segundo es un proceso en el que se forma el tubo extruido y cuando aún está caliente se expande mediante una presión de aire mantenida dentro del tubo. Esto da lugar a un tubo de varios dm de diámetro con una pared muy fina. Al cortar este tubo se obtiene una película muy utilizada en la industria de envasado para obtener envoltorios. Alternativamente, el tubo puede plegarse y obtenerse una hoja de doble capa que se puede utilizar para hacer bolsas sencillas cortando y sellando. La Figura 77.11 muestra un ejemplo de una extracción localizada adecuada en un proceso de extrusión.

Calandrado

En este proceso se introduce un plástico entre dos o más rodillos calentados y se convierte en una hoja pasándolo entre ellos y enfriando a continuación. De esta forma se preparan hojas más gruesas que una película, utilizadas en aplicaciones industriales y domésticas y como materia prima en la fabricación de ropa y artículos hinchados como muñecos (véase la Figura 77.12).

Moldeo por insuflación de aire comprimido

Este proceso se puede considerar una combinación del proceso de extrusión y de termomoldeo. Se extruye un tubo en un molde abierto; cuando alcanza el fondo el molde se cierra en torno a él y se expande el tubo por presión de aire. De esta forma se fuerza el plástico a los lados del molde y se sellan la parte superior y la inferior. Una vez frío se extrae el artículo del molde. En

este proceso se obtienen artículos huecos, de los cuales las botellas son los más importantes.

La resistencia a la compresión e impacto de ciertos productos de plástico fabricados por moldeo por insuflación de aire comprimido se puede mejorar considerablemente utilizando técnicas de moldeo por estirado y soplado. Para ello se produce primero una preforma que después se expande mediante presión de aire y se estira biaxialmente. Con este método se ha mejorado tanto la resistencia a la presión de rotura de las botellas de PVC que se utilizan para bebidas carbónicas.

Moldeo por rotación

Este proceso se utiliza para la producción de artículos moldeados calentando y enfriando una forma hueca que se rota para que la fuerza de la gravedad distribuya polvo finamente dividido o líquido sobre la superficie interna de dicha forma. Algunos artículos fabricados mediante este método son balones de fútbol, muñecas y otros artículos similares.

Colada de películas

Además de por extrusión, se pueden formar películas mediante extrusión de un polímero caliente en un tambor de metal muy pulido, o bien pulverizando una solución de polímero en una correa en movimiento.

Una aplicación importante de algunos plásticos es el revestimiento de papel. Para ello, se extruye una película de plástico fundido sobre papel en condiciones que favorecen la adherencia del plástico al papel. Igualmente se puede revestir cartón. El papel y el cartón así revestidos se pueden utilizar en envasado, y este tipo de cartón se utiliza para hacer cajas.

Termoformado

Bajo este epígrafe se agrupan varios procesos en los que una hoja de un material plástico, con más frecuencia termoplástico, se calienta, por lo general en un horno, y después de sujetar el perímetro se moldea en una forma determinada mediante presión de pistones mecánicos o de aire o vapor comprimidos. En el caso de artículos muy grandes la hoja caliente "gomosa" se sujeta con pinzas sobre los moldes. Algunos productos así obtenidos son accesorios para lámparas, señales de tráfico, carteles publicitarios, baños y otros artículos de tocador y lentes de contacto.

Figura 77.12 • Campanas para captar las emisiones calientes de molinos de calentamiento en un proceso de calandrado.



Roy Woodcock

Conformado por vacío

Bajo esta denominación general se incluyen muchos procesos, todos ellos de moldeado térmico, y con la característica común de que se calienta una hoja de plástico en una máquina sobre una cavidad, alrededor de cuyo borde se sujeta, y cuando está flexible se fuerza por succión dentro de la cavidad, en la que adopta una forma específica y se enfría. En una operación posterior el artículo se pule sin la hoja. En estos procesos se obtienen recipientes de paredes finas muy baratos y de todos los tipos, así como artículos de publicidad y exhibición, bandejas y similares, y materiales absorbentes de choques para envasar artículos como pasteles de fantasía, frutas blandas y carne troceada.

Laminado

En todos los procesos de laminado se comprimen dos o más materiales en forma de hojas para obtener una hoja o un panel con propiedades especiales. El caso más sencillo son laminados decorativos fabricados con resinas fenólicas y amínicas; en el otro extremo se encuentran las películas complejas utilizadas en el envasado y formadas, por ejemplo, por celulosa, polietileno y láminas de metal.

Procesos de la tecnología de resinas

Entre estos se incluye la fabricación de madera contrachapada y muebles y la construcción de artículos grandes y complicados como carrocerías de coches y cascos de barcos de fibra de vidrio impregnada con resinas de poliéster o epoxi. En todos estos procesos se polimeriza una resina líquida bajo la acción del calor o de un catalizador y de esta forma se unen partículas discretas o fibras, o películas u hojas mecánicamente débiles, obteniéndose un panel robusto de construcción rígida. Estas resinas se pueden utilizar mediante técnicas de aplicación manuales, como pintado e inmersión o mediante pulverizado.

También se pueden preparar por moldeo objetos pequeños como recuerdos y bisutería de plástico, mezclando la resina líquida y el catalizador e introduciéndolos en un molde.

Procesos de acabado

Aquí se incluyen diversos procesos comunes a muchas industrias, por ejemplo el uso de pinturas y adhesivos. No obstante, existen varias técnicas específicas utilizadas para la soldadura de plásticos. Una de ellas es el uso de disolventes, como hidrocarburos clorados, metiletilcetona (MEC) y tolueno, para unir hojas de plástico rígido en la fabricación general, carteles publicitarios y obras similares. La radiación de radiofrecuencia (RF) utiliza una combinación de presión mecánica y radiación electromagnética con frecuencias en general en el intervalo de 10 a 100 MHz. Este método se utiliza a menudo para soldar material plástico flexible en la fabricación de carteras, portafolios y coches para niños (ver el recuadro). Asimismo se utilizan ultrasonidos en combinación con presión mecánica para artículos semejantes.

Riesgos y su prevención**Fabricación de polímeros**

Los riesgos especiales de la industria de los polímeros están estrechamente relacionados con los de la industria petroquímica y dependen en gran parte de las sustancias utilizadas. Los riesgos para la salud de las materias primas individuales se comentan en otro apartado de esta *Enciclopedia*. Un riesgo general importante es el peligro de incendios y explosiones. Muchos procesos de polímeros/resinas tienen riesgo de incendio y explosión debido a la naturaleza de las materias primas utilizadas. Si no se toman las medidas de protección adecuadas existe a veces el riesgo de que durante la reacción, en general dentro de edificios parcialmente confinados, escapen gases o líquidos inflamables a temperaturas

superiores a sus puntos de ignición. Si las presiones son muy elevadas, se deben prever venteos a la atmósfera. Se puede crear una presión excesiva debido a reacciones exotérmicas inesperadamente rápidas; la manipulación de algunos aditivos y la preparación de ciertos catalizadores puede aumentar el riesgo de incendio o explosión. La industria ha abordado ya estos problemas; en particular, en la fabricación de resinas fenólicas ha elaborado notas técnicas sobre diseño de las plantas y procedimientos seguros de trabajo.

Procesado de plásticos

La industria de procesado de plásticos presenta riesgos de lesiones debido a la maquinaria utilizada, riesgos de incendio debido a la capacidad de combustión de los plásticos y su polvo y riesgos para la salud debido a los numerosos productos químicos utilizados.

Lesiones

La principal área de esta industria en la que se producen lesiones es la de manufactura de productos plásticos. La mayor parte de los procesos de conversión de plástico depende casi por completo del uso de maquinaria. En consecuencia, los principales riesgos son los asociados al uso de dicha maquinaria, no sólo durante el funcionamiento normal sino también durante su limpieza, instalación y mantenimiento.

Las máquinas de moldeo por compresión, presión, inyección y soplado de aire tienen platos de prensa con una fuerza de cierre de muchas toneladas por centímetro cuadrado. Debe existir una protección adecuada para evitar amputaciones o lesiones por aplastamiento. Esto se consigue generalmente cerrando las zonas peligrosas y bloqueando las protecciones móviles con los controles de la máquina. Una protección de bloqueo no debe permitir movimientos peligrosos dentro del área protegida y debe hacer que las piezas peligrosas paren o inviertan el movimiento peligroso cuando se abra la protección durante el funcionamiento de la máquina.

Cuando exista un riesgo grave de lesión en la maquinaria como en las placas de máquinas de moldeo, y un acceso normal al área de peligro, se requiere un bloqueo mayor; puede consistir en un segundo dispositivo de bloqueo independiente en la protección que interrumpe el suministro de energía y previene el movimiento peligroso cuando está abierta.

En el caso de procesos con hojas de plástico, un riesgo habitual son los atrapamientos entre los rodillos en funcionamiento y durante el tratamiento de la hoja. Esto se produce en los rodillos tensores y dispositivos de arrastre en la planta de extrusión y calandrados. Se puede conseguir la protección utilizando un dispositivo de desenganche localizado adecuadamente que inmediatamente pare o invierta el movimiento peligroso de los rodillos.

Muchas de las máquinas de tratamiento de plástico funcionan a temperaturas muy altas; se pueden producir quemaduras graves si el cuerpo entra en contacto con metal o plásticos calientes. Si es posible, éstas partes se deben proteger cuando la temperatura sea superior a 50 °C. Por otra parte, los bloqueos que se producen en las máquinas de moldeo por inyección y los extrusores se pueden liberar violentamente. Debe seguirse un sistema seguro de trabajo cuando se intenten liberar obstrucciones de plástico, en el que se incluye el uso de guantes y protección facial adecuados.

La mayor parte de las funciones de las máquinas modernas están controladas por sistemas informáticos o de control electrónico programado, que también pueden controlar los dispositivos de desmontaje mecánico o estar unidos a robots. Con las nuevas máquinas no existe la necesidad de que el operario se acerque a las áreas de peligro, de lo que resulta que la seguridad en la maquinaria debería mejorar. No obstante es necesario que

Calentadores y selladores dieléctricos de RF

Los calentadores y selladores de radiofrecuencia (RF) se utilizan en muchas industrias para calentar, fundir o endurecer materiales dieléctricos, como plástico, caucho y cola, que son aislantes eléctricos y térmicos difíciles de calentar con los métodos habituales. Los calentadores de RF se aplican en el sellado de cloruro de polivinilo (p. ej., fabricación de productos de plástico, como impermeables, fundas para asientos y materiales de envasado); el endurecimiento de colas utilizadas en la industria maderera; el estampado y secado de tejidos, papel, piel y plásticos; y el endurecimiento de muchos materiales que contienen resinas plásticas.

Los calentadores de RF utilizan radiación de RF en el intervalo de frecuencia de 10 a 100 MHz con una potencia de salida desde menos de 1 kW a aproximadamente 100 kW para producir calor. Se sitúa el material a calentar comprimido entre dos electrodos y se aplica la potencia RF durante períodos que varían entre pocos segundos a aproximadamente un minuto, en función del uso. Los calentadores de RF pueden producir campos eléctricos y magnéticos de RF de alta dispersión en el medio ambiente circundante, especialmente si los electrodos no están apantallados.

La absorción de la energía de RF por el cuerpo humano puede provocar calentamiento de parte o todo el cuerpo, con efectos adversos para la salud. Si la temperatura corporal aumenta 1 °C o más, es posible que se produzcan efectos cardiovasculares, como taquicardia y aumento del gasto cardíaco. Algunos efectos localizados son: cataratas, recuentos bajos de espermatozoides en el sistema reproductor masculino y efectos teratogénicos en el feto en desarrollo.

Los riesgos indirectos incluyen quemaduras por radiofrecuencia debido al contacto directo con piezas metálicas del calentador, dolorosas, profundas y de curación lenta; parálisis en las manos y efectos neurológicos como el síndrome del túnel carpiano, y efectos sobre el sistema nervioso periférico.

Controles

Los dos tipos básicos de controles que se utilizan para reducir los riesgos derivados de los calentadores de RF son las prácticas de trabajo y el apantallamiento; por supuesto, es preferible este último, pero unos procedimientos adecuados de mantenimiento y otras prácticas de trabajo pueden reducir también la exposición. También se aplica la limitación del tiempo que el operario está expuesto, esto es, un control administrativo.

Los métodos de reparación y un correcto mantenimiento son aspectos importantes, debido a que el fallo en la reinstalación

adecuada de pantallas, dispositivos de enclavamiento, paneles y cierres puede provocar fugas excesivas de RF. Por otra parte, se debe desconectar y bloquear o cerrar la toma de corriente del calentador para proteger al personal de mantenimiento.

Si se mantienen las manos y la parte superior del cuerpo lo más lejos posible del calentador de RF se reducen los niveles de exposición del operario. Los paneles de control del operario para algunos calentadores automatizados se colocan a cierta distancia de los electrodos del calentador utilizando bandejas deslizantes, mesas giratorias o correas transportadoras para alimentar el calentador.

La exposición del personal operativo y no operativo se reduce midiendo los niveles de RF. Debido a que estos niveles disminuyen al aumentar la distancia del calentador, es posible establecer un "área de riesgo de RF" en torno a cada calentador. Se advertirá a los trabajadores para que no ocupen estas áreas peligrosas cuando funciona el calentador de RF. Si es posible, deben utilizarse barreras físicas no conductoras para mantener a las personas a una distancia segura.

Lo más conveniente es que los calentadores de RF tengan una pantalla en torno al aplicador, que impida la radiación de RF. La pantalla y todas las juntas deben tener una conductividad alta para las corrientes eléctricas interiores que fluyen en las paredes. El número de aberturas en la pantalla será el mínimo posible, y tan pequeñas como lo permita una operación práctica. Deberán estar orientadas en dirección opuesta a donde se encuentre el operario. Se pueden minimizar las corrientes en las pantallas mediante conductores separados en la cabina que conduzcan corrientes altas. El calentador debe tener la toma de tierra adecuada, con el cable de tierra en la misma tubería que la línea de corriente, así como dispositivos de enclavamiento adecuados para prevenir la exposición a altos voltajes y elevadas emisiones de RF.

Es mucho más sencillo que el fabricante incorpore esta pantalla a los nuevos modelos de calentadores de RF, que actualizar el material. Los confinamientos en cajas pueden ser eficaces, como lo es una toma de tierra correcta para reducir las emisiones de RF. Después debe medirse cuidadosamente la RF para garantizar que las emisiones se han reducido realmente. La práctica de confinar el calentador en un sala con pantalla de metal puede aumentar la exposición si el operario también se encuentra en dicha sala, aunque reduce las exposiciones fuera de la sala.

Fuente: ICNIRP; en prensa.

preparadores y técnicos se aproximen a estas áreas. Por consiguiente es esencial instalar un programa adecuado de bloqueo y cierre antes de realizar este tipo de trabajo, particularmente cuando no se puede conseguir una protección completa mediante los dispositivos de seguridad de la máquina. Por otra parte, los sistemas de emergencia o de socorro deben estar diseñados y señalizados de tal forma que actúen en situaciones en las que el control programado falle por cualquier motivo, por ejemplo durante una interrupción del suministro de energía.

Es importante que las máquinas estén adecuadamente dispuestas en el taller, con espacios libres de trabajo para cada una. Esto contribuye al mantenimiento de altos estándares de limpieza y orden. Las máquinas se deben mantener correctamente, comprobándose regularmente los dispositivos de seguridad.

Es esencial un buen servicio de mantenimiento, debiéndose prestar una atención especial a la limpieza de los suelos. Sin una limpieza regular, los suelos se contaminan con aceite de las

máquinas o con gránulos de plástico derramados. Se debe contar con métodos de trabajo que incluyan medios seguros de acceso a las áreas sobre el nivel del suelo.

Debe disponerse de espacio suficiente para el almacenamiento de materias primas y productos terminados; estas áreas deben estar claramente señalizadas.

Los plásticos son buenos aislantes eléctricos; como consecuencia se pueden crear cargas estáticas en la maquinaria sobre la que se desplazan hojas o películas. Estas cargas pueden tener un potencial suficiente para provocar accidentes graves o actuar como fuentes de ignición. Se deben utilizar eliminadores de electricidad para reducir estas cargas y aplicar tomas de tierra a las piezas metálicas.

Existe una tendencia creciente al retratamiento de los residuos plásticos utilizando granuladores y mezclado con nuevos materiales. Los granuladores se deben confinar completamente para prevenir cualquier posibilidad de alcanzar los rotores a través de las aberturas de descarga y alimentación. El diseño de éstas

Tabla 77.10 • Productos volátiles en la descomposición de los plásticos (componentes de referencia).*

En muchos sectores industriales, los plásticos están sometidos a estrés térmico. Las temperaturas varían de valores relativamente bajos en el procesamiento de plásticos (p. ej., 150 a 250 °C), a casos extremos (p. ej., cuando se sueldan metal laminado en punta o tubos revestidos de plástico). Es en tales circunstancias cuando se plantea siempre la duda de si en las áreas de trabajo se alcanzan concentraciones tóxicas de productos volátiles procedentes de la pirólisis.

Para responder a esto, en primer lugar se deben determinar las sustancias liberadas, y después medir sus concentraciones. Mientras que el segundo paso es en principio factible, no suele ser posible la determinación de los productos de la pirólisis sobre el terreno. El Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA) ha estudiado el problema durante años, y en el curso de muchos ensayos de laboratorio ha determinado los productos de descomposición de plásticos. Los resultados de los ensayos para los distintos tipos de plásticos están publicados (Lichtenstein y Quellmalz 1984, 1986a, 1986b, 1986c).

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos hasta la fecha; su finalidad es ayudar a todos aquellos que se enfrentan a la labor de medir concentraciones de sustancias peligrosas en determinadas áreas de trabajo. Los productos de descomposición citados para los distintos plásticos pueden servir de "componentes de referencia". No obstante, debe recordarse que la pirólisis puede dar lugar a mezclas muy complejas de sustancias, cuyas composiciones dependen de muchos factores.

La tabla no es completa en lo que respecta a los productos de pirólisis citados como componentes de referencia (todos ellos determinados en experimentos de laboratorio). No se puede excluir la aparición de otras sustancias que presenten riesgos para la salud; registrarlas todas resultaría imposible.

Plástico	Abreviatura	Sustancias volátiles
Polioximetileno	POM	Formaldehído
Resinas epoxi a base de bisfenol A		Fenol
Caucho cloropreno	CR	Cloropreno (2-clorobuto-1,3-dieno), cloruro de hidrógeno
Poliestireno	PS	Estireno
Copolímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno	ABS	Estireno, 1,3-butadieno, acrilonitrilo
Copolímero estireno-acrilonitrilo	SAN	Acrilonitrilo, estireno
Policarbonatos	PC	Fenol
Cloruro de polivinilo	PVC	Cloruro de hidrógeno, plastificantes (por lo común, ésteres del ácido ftálico como dioctil ftalato, dibutil ftalato)
Poliamida 6	PA 6	ϵ -caprolactama
Poliamida 66	PA 66	Ciclopentanona, hexametildiamina
Poliétileno	HDPE, LDPE	Hidrocarburos alifáticos insaturados, aldehídos alifáticos
Politetrafluoroetileno	PTFE	Hidrocarburos insaturados polifluorados (p. ej., tetrafluoroetileno, hexafluoropropeno, octafluorobuteno)
Polimetil metacrilato	PMMA	Metil metacrilato
Poliuretano	PUR	Según el tipo, productos de descomposición muy variables (p. ej., CFC ¹ como agentes espumantes, éter y éter glicólico, diisocianatos, cianuro de hidrógeno ² , aminas aromáticas, ésteres de ácidos fosfóricos clorados como agentes protectores contra las llamas)
Polipropileno	PP	Hidrocarburos alifáticos saturados e insaturados
Polibutilo tereftalato (poliéster)	PBTP	1,3-butadieno, benceno
Poliacrilonitrilo	PAN	Acrilonitrilo, cianuro de hidrógeno ²
Celulosa acetato	CA	Acido acético

Norbert Lichtenstein

¹ Utilización discontinua.

² No pudo detectarse con la técnica analítica empleada (CG/EM), pero se conoce por los datos publicados.

* Reimpresión de BIA 1997, autorizada.

últimas debe impedir el paso de un cuerpo entero. Los rotores se mueven a alta velocidad, no debiéndose retirar las cubiertas hasta que se hayan detenido. Cuando existan protecciones de bloqueo, éstas deben evitar el contacto con las hojas hasta que se hayan parado por completo.

Riesgos de incendio y explosión.

Los plásticos son materiales combustibles, aunque no todos los polímeros soportan la combustión. En forma de polvo finamente dividido pueden alcanzar concentraciones explosivas en el aire. Cuando exista este riesgo se debe controlar el polvo, preferentemente en un sistema cerrado, con discos de ruptura suficientes

con venteo a baja presión (aproximadamente 0,05 bar) a un lugar seguro. Es esencial una limpieza escrupulosa para prevenir acumulaciones de polvo en las salas de trabajo que pueden transportarse por el aire y provocar una explosión secundaria.

Los polímeros pueden estar sometidos a degradación térmica y pirólisis a temperaturas no muy superiores a las del tratamiento normal. En estas circunstancias se pueden crear presiones suficientes en el husillo o el extrusor para, por ejemplo, expulsar el plástico fundido y cualquier tapón sólido de plástico que provoque un bloqueo inicial.

En esta industria es frecuente el uso de líquidos inflamables, tales como pinturas, adhesivos, agentes limpiadores y disolventes

para soldadura. Las resinas de fibra de vidrio (poliéster) también emiten vapores inflamables de estireno. Deben reducirse al mínimo las existencias de estos líquidos en las salas de trabajo y almacenarse en un lugar seguro cuando no se utilicen. Las áreas de almacenamiento deben incluir lugares seguros al aire libre o un almacén resistente al fuego.

Los peróxidos utilizados en la fabricación de resinas de plástico reforzado con vidrio (PRV) se deben almacenar aparte de los líquidos inflamables y otros materiales combustibles, sin someterse a temperaturas extremas, ya que son explosivos al calentarse.

Riesgos para la salud

Existen numerosos riesgos para la salud asociados al proceso de plásticos. Raramente se utilizan los plásticos brutos, debiéndose adoptar las precauciones adecuadas frente a los aditivos utilizados en las distintas formulaciones. Los aditivos utilizados incluyen jabones de plomo en PVC y ciertos colorantes orgánicos y de cadmio.

Es importante el riesgo de dermatitis a causa de los líquidos y polvos de "productos químicos reactivos", como resinas de fenol formaldehído (antes de formar enlaces cruzados), uretanos y resinas de poliéster insaturado utilizados en la fabricación de productos de PRV. Se debe llevar la ropa protectora adecuada.

Es posible la generación de humos en la degradación térmica de polímeros durante los procesos en caliente. Este problema se puede minimizar con controles técnicos. No obstante, debe evitarse la inhalación de productos de la pirólisis en condiciones adversas, por ejemplo, el purgado del husillo extrusor. Pueden ser necesarias unas condiciones de buena LEV. Han surgido problemas, por ejemplo cuando los trabajadores han quedado envueltos por ácido clorhídrico gas y han sufrido "fiebre del humo de polímeros" después del sobrecalentamiento de PVC y politetrafluoroetileno (PTFE), respectivamente. El cuadro adjunto detalla algunos productos de la descomposición química de los plásticos.

También existe el peligro de inhalación de vapores tóxicos procedentes de ciertas resinas termoendurecidas. La inhalación de isocianatos utilizados con las resinas de poliuretano puede provocar neumonía química y asma grave; una vez sensibilizadas, estas personas deben ser trasladadas a un trabajo alternativo. El problema es similar con las resinas de formaldehído. En ambos ejemplos es necesaria una buena LEV. En la fabricación de artículos PRV se desprenden cantidades significativas de vapores de estireno, de forma que este trabajo debe realizarse en condiciones de buena ventilación general en las salas de trabajo.

Otros riesgos son comunes a varias industrias. Entre ellos se incluye el uso de disolventes para dilución u otros fines antes descritos. Se utilizan habitualmente hidrocarburos clorados para la limpieza; sin una ventilación por extracción adecuada las personas pueden sufrir narcosis.

La eliminación de residuos de plásticos mediante incineración se debe realizar en condiciones cuidadosamente controladas; por ejemplo, el PTFE y los uretanos deben estar en un área en la que los gases se ventilen hacia un lugar seguro.

Durante el uso de los granuladores se pueden alcanzar niveles de ruido muy altos, que pueden causar pérdidas auditivas en los operarios y personas que trabajan en las proximidades. Este riesgo puede controlarse separando este equipo de otras áreas de trabajo. Preferiblemente los niveles de ruido se deben reducir en su origen. Esto se ha conseguido cubriendo el granulador con material insonorizante y acoplado pantallas de separación en la boca de alimentación. Otro riesgo para la audición procede del sonido audible generado por las máquinas soldadoras por ultrasonido. Se pueden diseñar cerramientos adecuados para reducir el nivel de ruido percibido, que se interbloqueen para prevenir

un riesgo mecánico. Como norma mínima, las personas que trabajan en áreas muy ruidosas deben llevar protección auditiva adecuada y debe existir un programa de conservación de la audición que incluya controles audiométricos y formación.

Las quemaduras son otro riesgo. Algunos aditivos y catalizadores para la producción y procesado de plásticos pueden ser muy reactivos al contacto del aire o el agua y pueden causar rápidamente quemaduras químicas. Siempre que se manipulen o transporten termoplásticos fundidos existe el riesgo de vertidos de material caliente y por consiguiente de quemaduras y escaldados. La gravedad de estas quemaduras puede aumentar por la tendencia de termoplásticos calientes a adherirse a la piel como la cera caliente.

Los peróxidos orgánicos son irritantes y pueden provocar ceguera si salpican a los ojos. Debe llevarse protección ocular apropiada.

INDUSTRIA DE LA BIOTECNOLOGIA

Susan B. Lee y Linda B. Wolfe

Evolución y perfil

Se puede definir la biotecnología como la aplicación de sistemas biológicos a procesos técnicos e industriales. Comprende tanto los organismos tradicionales como los modificados por ingeniería genética. La biotecnología tradicional es el resultado de hibridaciones clásicas, apareamientos o cruzamientos de varios organismos para crear nuevos organismos utilizados durante siglos para producir pan, cerveza, queso, soja, saki, vitaminas, plantas híbridas y antibióticos. Más recientemente se han utilizado también algunos microorganismos para tratar aguas residuales, residuos humanos y residuos tóxicos industriales.

La biotecnología moderna combina los principios de la química y la ciencia biológica (biología molecular y celular, genética, inmunología) con disciplinas tecnológicas (ingeniería, informática) para producir artículos y servicios y para la gestión ambiental. La biotecnología moderna utiliza enzimas de restricción para aislar y añadir información genética, ADN, de un organismo a otro fuera de células vivas. El ADN compuesto se introduce después en células hospedadoras para determinar si se expresa el carácter deseado. La célula resultante se denomina clon, un organismo recombinante o manipulado genéticamente (OMG). La "moderna" industria de la biotecnología nació entre 1961 y 1965 al descifrarse el código genético y ha crecido rápidamente desde los primeros experimentos de clonación de ADN con éxito en 1972.

Desde principios del decenio de 1970 los científicos han comprendido que la ingeniería genética es una tecnología muy poderosa y prometedora, pero existen algunos riesgos que es necesario considerar. Ya en 1974 los científicos solicitaron una moratoria a nivel mundial sobre tipos específicos de experimentos con el fin de evaluar los riesgos y establecer unas normas adecuadas para evitar riesgos biológicos y ecológicos (Committee on Recombinant DNA Molecules, National Research Council, National Academy of Sciences 1974). Algunas de las preocupaciones entonces expresadas incluían el potencial "escape de vectores que podrían iniciar un proceso irreversible, y crear problemas muchas veces mayores que los surgidos de multitud de recombinaciones genéticas que tienen lugar espontáneamente en la naturaleza". También se expresó la preocupación de que "microorganismos con genes transplantados pudieran ser peligrosos para el hombre u otras formas de vida. Puede producirse un daño si la célula huésped alterada tiene una ventaja competitiva que pueda favorecer su supervivencia

en un nicho del ecosistema “ (NIH 1976). También se reconoció que los trabajadores se encontrarían en un entorno peligroso y que se debería intentar proteger a los trabajadores y al medio ambiente de los riesgos desconocidos y potencialmente graves.

El informe de una conferencia internacional celebrada en Asilomar, California, en febrero de 1975, contenía las primeras directrices por consenso basadas en estrategias de confinamiento físico y biológico para controlar los posibles riesgos previstos con la nueva tecnología. Se juzgó que algunos experimentos presentaban tales peligros que la conferencia recomendó que no se realizaran (NIH 1976). En un principio se prohibieron los trabajos siguientes:

- experimentos con ADN de organismos patógenos y oncogenes
- formación de recombinantes que incorporan genes de toxinas
- trabajos que puedan extender la gama de hospedadores de patógenos de plantas
- introducción de genes de resistencia a fármacos en organismos que no los adquieran naturalmente y cuando el tratamiento estuviera comprometido
- liberación deliberada al medio ambiente (Freifelder 1978).

Las primeras National Institutes of Health Guidelines (NIHG) se publicaron en Estados Unidos en 1976, sustituyendo a las directrices de Asilomar. Estas directrices permitían la investigación clasificando los experimentos según clases de peligros en base a los riesgos asociados a las células hospedadoras, sistemas de vectores que transportan genes a las células e inserciones de genes, permitiendo o restringiendo así la realización de los experimentos según la evaluación del riesgo. La premisa básica de las directrices NIHG (ofrecer protección a los trabajadores, y por extensión, seguridad a la comunidad) sigue vigente hoy (NIH 1996). Las NIHG se actualizan regularmente y han evolucionado hasta convertirse en una norma aceptada ampliamente para las prácticas de biotecnología en los Estados Unidos. Las instituciones que reciben subvenciones federales deben cumplirlas, además de muchas ordenanzas locales. Las NIHG proporcionan una base para la legislación en otros países, incluidos Suiza (SCBS 1995) y Japón (Instituto Nacional de Salud 1996).

Desde 1976 se han ampliado las NIHG con objeto de incorporar consideraciones de confinamiento y aprobación para nuevas tecnologías, incluidas instalaciones para la producción a gran escala y propuestas de terapias génicas para plantas, animales y el ser humano. Algunos de los experimentos que en principio fueron prohibidos están ahora autorizados con la aprobación específica del NIH o con prácticas específicas de confinamiento.

En 1986 la Office of Science and Technology Policy (OSTP) de Estados Unidos publicó su Coordinated Framework for Biotechnology Regulation. En él se abordaba la cuestión política subyacente de si la legislación existente era adecuada para evaluar productos derivados de las nuevas tecnologías y si los procesos de revisión para investigación eran suficientes para proteger al público y el medio ambiente. Los organismos legislativos y de investigación de Estados Unidos (Environmental Protection Agency (EPA), Food and Drug Administration (FDA), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), NIH, US Department of Agriculture (USDA) y National Science Foundation (NSF)) acordaron regular los productos, no los procesos, y que no eran necesarias leyes especiales para proteger a los trabajadores, el público o el medio ambiente. Se estableció la política de aplicar programas legislativos de forma integrada y coordinada, minimizando la superposición, y en la medida de lo posible, la responsabilidad para la aprobación de un producto recaería en un organismo. Los organismos coordinarían sus

esfuerzos adoptando definiciones consistentes y utilizando revisiones científicas (evaluación de riesgos) de rigor científico comparable (OSHA 1984; OSTP 1986).

Las NIHG y el Coordinated Framework han proporcionado un grado adecuado de debate científico objetivo y de participación pública que se han traducido en el crecimiento de la biotecnología en los Estados Unidos en una industria de muchos millones de dólares. Antes de 1970 existían menos de 100 compañías implicadas en todos los aspectos de la biotecnología moderna. En 1977, se unían otras 125 empresas; en 1983 otras 381 empresas llevaron el nivel de inversión de capital privado a más de 1.000 millones de dólares. En 1994 la industria había crecido a más de 1.230 empresas (Massachusetts Biotechnology Council Community Relations Committee 1993), y la capitalización en el mercado es superior a 6.000 millones de dólares.

En 1980 el número de empleados en empresas de biotecnología era de unos 700; en 1994 unas 1.300 empresas empleaban a más de 100.000 trabajadores (Massachusetts Biotechnology Council Community Relations Committee 1993). Por otra parte existe una completa industria de apoyo que provee reactivos (productos químicos, componentes de los medios, líneas celulares), equipos, instrumentos y servicios (bancos de células, validación, calibración) necesarios para garantizar la integridad de la investigación y la producción.

En todo el mundo existe una gran preocupación y escepticismo acerca de la seguridad de la ciencia y de sus productos. El Consejo de las Comunidades Europeas (Parlamento de las Comunidades Europeas 1987) elaboró directivas para proteger a los trabajadores de los riesgos asociados con la exposición a productos biológicos (Consejo de las Comunidades Europeas 1990a) y aplicar controles ambientales en las actividades experimentales y comerciales, incluida la liberación deliberada. (p. ej., de productos de marketing que utilizan OMG (Consejo de las Comunidades Europeas 1990b); Van Houten y Flemming 1993). Se han elaborado normas y directrices relativas a los productos biotecnológicos en organizaciones internacionales y multinacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Asociación Internacional de Normalización (ISO), la Comisión de las Comunidades Europeas, la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Microbial Strains Data Network (OSTP 1986).

La moderna industria de la biotecnología se puede desglosar en cuatro grandes sectores, cada uno con investigación y desarrollo (I+D) de laboratorio, de campo y clínico que apoyan la producción real de bienes y servicios.

- productos biomédicos-farmacéuticos, biológicos y dispositivos médicos;
- alimentos agrícolas, peces y animales transgénicos, plantas resistentes a las enfermedades y a las plagas;
- productos industriales mejorados genéticamente, como ácido cítrico, butanol, acetona, etanol y enzimas detergentes (véase la Tabla 77.11),
- tratamiento de aguas residuales y del medio ambiente, descontaminación de residuos industriales.

Trabajadores en biotecnología

La biotecnología comienza en el laboratorio de investigación y es una ciencia interdisciplinar. Los biólogos moleculares y celulares, los inmunólogos, los genetistas, los químicos de proteínas y péptidos, los bioquímicos y los ingenieros bioquímicos están expuestos más directamente a los riesgos reales y potenciales de la tecnología del ADN recombinante (ADNr). Otros trabajadores también expuestos, pero menos directamente, a los riesgos biológicos del ADNr son el personal de servicio y apoyo, como los

Tabla 77.11 • Microorganismos de importancia industrial.

Nombre	Organismo hospedador	Usos
<i>Acetobacter aceti</i>	Bacterias aerobias	Fermenta la fruta
<i>Aspergillus niger</i>	Hongos asexuados	Degrada la materia orgánica Uso seguro en la producción de ácido cítrico y enzimas
<i>Aspergillus oryzae</i>	Hongos asexuados	Se utiliza en la producción de miso, salsa de soja y sake
<i>Bacillus licheniformis</i>	Bacterias,	Productos químicos y enzimas industriales
<i>Bacillus subtilis</i>	Bacterias	Productos químicos, enzimas, fuente de proteínas de células únicas para consumo humano en Asia
Células de ovario de hámster chino (CHO)*	Cultivo de células de mamíferos	Fabricación de productos biofarmacéuticos
<i>Clostridium acetobutylicum</i>	Bacterias	Butanol, producción de acetona
<i>Escherichia coli</i> K-12*	Cepa bacteriana	Clonación para fermentación, obtención de productos farmacéuticos y biológicos
<i>Penicillium roqueforti</i>	Hongos asexuados	Producción de queso azul
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> *	Levaduras	Clonación para la producción de cerveza
<i>Saccharomyces uvarum</i> *	Levaduras	Clonación para bebidas alcohólicas y producción de alcohol industrial

* Importante para la biotecnología moderna.

técnicos de ventilación y refrigeración, los proveedores de servicios de calibración y el personal de mantenimiento. En una revisión reciente de los profesionales de la salud y seguridad en la industria se encontró que los trabajadores expuestos directa e indirectamente constituyen cerca del 30 al 40 % de toda la mano de obra en una empresa de biotecnología comercial típica (Lee y Ryan 1996). La investigación biotecnológica no está limitada a la "industria"; también se realiza en instituciones universitarias, médicas y oficiales.

Los trabajadores de los laboratorios de biotecnología están expuestos a muchos y diversos productos químicos peligrosos y tóxicos, a riesgos biológicos recombinantes o no recombinantes o de "tipo salvaje", a patógenos humanos transmitidos por la sangre y a zoonosis, así como a materiales radiactivos utilizados en experimentos de marcado. Por otra parte, cada vez es mayor el reconocimiento de que las alteraciones musculoesqueléticas y las lesiones repetitivas por tensiones son posibles riesgos para los trabajadores de investigación debido al uso continuado de ordenadores y micropipetas manuales.

Los operarios de la fabricación biotecnológica están también expuestos a productos químicos peligrosos, aunque no son tan variados como en el caso de la investigación. En función del producto y del proceso, en el curso de la fabricación pueden producirse exposiciones a radionúclidos. Incluso al nivel de riesgo biológico más bajo, los procesos de fabricación biotecnológica son sistemas cerrados y la posibilidad de exposición a los cultivos recombinantes es baja, excepto en el caso de accidentes. En las instalaciones de producción biomédica, la aplicación de las buenas prácticas de fabricación actuales complementa las directrices de seguridad biológica para proteger a los trabajadores en la planta. Los principales riesgos para los trabajadores de fabricación en las operaciones con buenas prácticas a gran escala en las que se utilizan organismos recombinantes no peligrosos incluyen lesiones traumáticas musculoesqueléticas (p. ej., tensión y dolor de espalda), quemaduras térmicas por las líneas de vapor y quemaduras químicas por ácidos y cáusticos (ácido fosfórico, hidróxido sódico y potásico) utilizados en el proceso.

Los trabajadores de la asistencia sanitaria, incluidos los técnicos del laboratorio clínico, están expuestos a vectores de terapia génica, excreta y muestras de excreciones y de laboratorio

durante la administración de fármacos y atención de los pacientes implicados en estos procedimientos experimentales. También puede estar expuesto el personal del servicio de mantenimiento. Al presentar una solicitud al NIH para experimentos de terapia génica humana, dos puntos experimentales que han de considerarse son la protección del trabajador y del medio ambiente (NIH 1996).

Los trabajadores agrícolas pueden sufrir una exposición elevada a productos, plantas o animales recombinantes durante las operaciones de aplicación de plaguicidas, plantado, cosechado y procesado. Independientemente del posible riesgo biológico por la exposición a plantas y animales modificados genéticamente, están presentes también los riesgos físicos tradicionales provocados por el equipo agrícola y los animales. Para prevenir estos riesgos se utilizan controles técnicos, EPP, formación y supervisión médica (Legaspi y Zenz 1994; Pratt y May 1994). Durante la aplicación, cultivo y cosechado de plantas u organismos del suelo modificados genéticamente, son importantes los EPP, entre ellos los trajes de protección total, los equipos de protección respiratoria, los guantes, las gafas y las capuchas.

Procesos y riesgos

En los procesos biotecnológicos del sector biomédico se cultivan células u organismos, modificados de formas específicas para obtener productos deseados, en biorreactores de monocultivos. En los cultivos de células de mamíferos, el producto de las proteínas se secreta de las células al medio nutritivo, utilizándose diversos métodos de separación química (cromatografía de exclusión o afinidad, electroforesis) para capturar y purificar el producto. En los casos en que se utilicen organismos hospedadores *Escherichia coli* en fermentaciones, el producto deseado se encuentra dentro de la membrana celular y la células se deben romper físicamente a fin de recoger el producto. La exposición a endotoxinas es un posible riesgo de este proceso. A menudo se añaden antibióticos a los medios de producción para aumentar la producción del producto deseado o mantener una presión selectiva sobre elementos de producción genética que de otra forma serían inestables (plásmidos). Es posible la sensibilización alérgica a estos materiales. En general estos son riesgos por exposición a aerosoles.

Son posibles las fugas y escapes de aerosoles; los medios de control de las posibles exposiciones son varios. Es necesario entrar en los recipientes de reacción para suministrar nutrientes y oxígeno, desgasificar el dióxido de carbono (CO₂) y vigilar y controlar el sistema. Cada entrada debe sellarse o filtrarse (0,2 micras) para prevenir la contaminación del cultivo. La filtración de los gases de escape también protege a los trabajadores y al medio ambiente en el área de trabajo de aerosoles generados durante el cultivo o la fermentación. En función del riesgo biológico potencial del sistema, la inactivación biológica validada de los efluentes líquidos (normalmente por calor, vapor o métodos químicos) es una práctica normalizada. Otros posibles riesgos en la fabricación biotecnológica son similares a los de otras industrias: ruido, protección mecánica, quemaduras por vapor o calor, contacto con productos corrosivos, etc.

Los enzimas y la fermentación industrial se comentan en otros apartados de esta *Enciclopedia* e implican procesos, riesgos y controles similares para los sistemas de producción por ingeniería genética.

La agricultura tradicional depende del desarrollo de cepas utilizando el cruzamiento tradicional de especies de plantas relacionadas. La gran ventaja de las plantas modificadas por ingeniería genética es que el tiempo entre las generaciones y el número de cruzamientos necesario para obtener el carácter deseado se reduce considerablemente. Asimismo, la dependencia, actualmente muy impopular, de los plaguicidas y fertilizantes químicos (que contribuyen a la contaminación por arrastre) está favoreciendo una tecnología que posiblemente hará innecesarias estas aplicaciones.

La biotecnología de plantas implica la elección de especies vegetales adaptables genéticamente o económicamente significativas para las modificaciones. Debido a que las células vegetales tienen paredes celulares rígidas de celulosa, los métodos utilizados para transferir ADN en células vegetales difiere del utilizado para bacterias y líneas celulares de mamíferos en el sector biomédico. Los métodos primarios utilizados para introducir ADN extraño modificado por ingeniería genética en células vegetales son dos (Watrud, Metz y Fishoff 1996):

- una pistola de partículas dispara ADN en la célula de interés
- un virus de *Agrobacterium tumefaciens* no tumorigeno e inactivado introduce genes en el material genético de la célula.

El *Agrobacterium tumefaciens* salvaje es un patógeno natural de las plantas que causa tumores de agalla del roble en las plantas afectadas. Estas cepas inactivadas del vector modificado no causan la formación de tumores.

Después del tratamiento por cualquiera de los métodos, las células vegetales se diluyen y cultivan en medios selectivos de cultivo de tejidos durante un período relativamente largo (en comparación a la velocidad del crecimiento bacteriano) en cámaras o incubadores. Las plantas regeneradas de los tejidos tratados se transplantan al suelo en cámaras de crecimiento cerradas para su desarrollo posterior. Una vez alcanzada una edad adecuada se examina la expresión de los caracteres deseados y después se cultivan en invernaderos. Se necesitan varias generaciones de experimentos en invernaderos para evaluar la estabilidad genética del carácter de interés y generar la cantidad de semillas necesaria para estudios posteriores. Asimismo, en el curso de esta fase se recopilan datos de impacto ambiental, que se envían junto a proposiciones a los organismos legislativos para la aprobación de ensayos de campo abiertos.

Controles: el caso de los Estados Unidos

Las NIHG (NIH 1996) describen un planteamiento sistemático para prevenir la exposición de los trabajadores y la liberación al medio ambiente de organismos recombinantes. Cada institución

(p. ej., universidad, hospital o laboratorio comercial) es responsable de la realización de la investigación sobre ADN_r en condiciones seguras y cumpliendo las NIHG. Este se consigue mediante un sistema administrativo que define las responsabilidades y requiere evaluaciones completas de los riesgos por científicos expertos y funcionarios de seguridad biológica, la aplicación de controles de exposición, programas de vigilancia médica y planes de emergencia. Un Institutional Biosafety Committee (IBC) facilita los mecanismos para la revisión y aprobación de los experimentos en la institución. En algunos casos se requiere la aprobación del NIH Recombinant Advisory Committee (RAC).

El grado de control depende de la gravedad del riesgo y se describe en términos de Biosafety Level (BF) (niveles de seguridad biológica) 1-4: BL1 es el menos restrictivo y BL4 el que más. Se establecen directrices de confinamiento para investigación, I&D a gran escala (más de 10 litros de cultivo), producción a gran escala y experimentos con animales y plantas a gran y pequeña escala.

El apéndice G de las NIHG (NIH 1996) describe el confinamiento físico a escala de laboratorio. El nivel BL1 es adecuado para el trabajo con organismos sin riesgos o con riesgos mínimos para el personal del laboratorio o el medio ambiente. El laboratorio no está separado de las zonas de ocupación generales del edificio. El trabajo se realiza en mesas abiertas. No son necesarios ni se utilizan dispositivos especiales de confinamiento. El personal del laboratorio está formado en los métodos de laboratorio y supervisado por científicos con formación general en microbiología o una ciencia relacionada.

El nivel BL2 es adecuado para trabajar con productos de riesgo moderado para el personal y el medio ambiente. El acceso al laboratorio está limitado cuando se realiza el trabajo, los trabajadores reciben formación específica en la manipulación de agentes patógenos y son dirigidos por científicos competentes; el trabajo que genera aerosoles se realiza en cabinas de seguridad biológica u otros equipos de confinamiento. Este trabajo puede requerir seguimiento médico o vacunaciones según determine el IBC.

El nivel BL3 se aplica cuando el trabajo se realiza con agentes indígenas o exóticos que pueden causar enfermedades graves o potencialmente letales como resultado de una exposición por inhalación. Los trabajadores reciben una formación específica y son supervisados por científicos competentes experimentados en la manipulación de estos agentes peligrosos. Todos los procedimientos se realizan en condiciones de confinamiento que requieren medidas técnicas especiales y EPP.

El nivel BL4 se reserva para los agentes más peligrosos y exóticos que presentan un alto riesgo individual y comunitario de enfermedad mortal. Sólo existen unos pocos laboratorios BL4 en el mundo.

El apéndice K aborda el confinamiento físico para las actividades de investigación o producción en volúmenes mayores de 10 l (gran escala). Como en las directrices para pequeña escala, existe una jerarquía de requisitos de confinamiento del menor al mayor potencial de riesgo: GLSP a BL gran escala (BL3-LS).

Las NIHG, en el apéndice P, incluyen el trabajo con plantas en las mesas, las cámaras de cultivo y los invernaderos. Como indica la introducción: "El objetivo principal del confinamiento de plantas es evitar la transmisión involuntaria de un genoma vegetal que contiene ADN recombinante, incluido material hereditario nuclear o de orgánulos o liberación de ADN recombinante derivado de organismos asociados con plantas. En general estos organismos no suponen una amenaza para la salud humana ni de animales superiores, a no ser que se modifiquen intencionadamente con este fin. Con todo, son posibles la diseminación inadvertida de un patógeno serio desde un invernadero a un cultivo agrícola local o la introducción y el

establecimiento no intencionado de un organismo en un nuevo ecosistema". (NIH 1996). En Estados Unidos, la EPA y el Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) de la USDA son responsables conjuntamente de la evaluación de riesgos y la revisión de los datos generados antes de aprobar los ensayos de campo (EPA 1996; Foudin y Gay 1995). A menudo se evalúan primero en los invernaderos aspectos como la persistencia y la diseminación en agua, aire y suelo, por insectos y especies animales; la presencia de otros cultivos similares en la zona; la estabilidad ambiental (sensibilidad a la congelación o al calor) y la competencia con las especies nativas. (Lieberman y cols. 1996).

Los niveles de confinamiento de plantas para las instalaciones y prácticas también varían de BL1 a BL4. Los experimentos típicos BL1 implican el autoclonado. Los BL2 pueden implicar la transferencia de caracteres de un patógeno a una planta hospedadora, y los BL3 la expresión de toxinas o agentes ambientalmente peligrosos. Se consigue la protección del trabajador en los distintos niveles mediante EPP y controles técnicos como invernaderos y casetas con flujo de aire direccional y filtros de partículas en aire de alta eficacia (HEPA) para prevenir la liberación de polen. En función del riesgo se puede conseguir una protección ambiental y comunitaria de agentes potencialmente peligrosos mediante controles biológicos. Algunos ejemplos son los caracteres sensibles a la temperatura o a fármacos y requisitos nutricionales no presentes en la naturaleza.

Con los avances científicos y tecnológicos era de esperar que las NIHG necesitaran una revisión. En los últimos 20 años el RAC se ha reunido para considerar y aprobar las propuestas de cambios. Por ejemplo, las NIHG ya no publican prohibiciones sobre la liberación deliberada de organismos modificados genéticamente; se permiten las liberaciones en ensayos de campo de productos agrícolas y los experimentos de terapia génica humana en circunstancias apropiadas y después de una evaluación adecuada de los riesgos. Una modificación muy significativa de las NIHG fue la creación de una categoría de confinamiento GLSP. Esta relaja los requisitos de confinamiento para las "cepas recombinantes no patógenas, no toxigénicas derivadas de organismos hospedadores con una larga historia de uso seguro a gran escala, o que se han formado en condiciones ambientales que permiten el crecimiento óptimo a gran escala pero una supervivencia limitada sin consecuencias adversas para el medio ambiente" (NIH 1991). Este mecanismo ha permitido el progreso de la tecnología sin dejar de considerar las necesidades de seguridad.

Controles: el caso de la Comunidad Europea

En abril de 1990 la Comunidad Europea (CE) elaboró dos directivas sobre el uso confinado y la liberación deliberada al medio ambiente de OMG. Ambas directivas exigen que los Estados miembros garanticen la adopción de todas las medidas adecuadas para evitar los efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, en particular haciendo que el usuario prevea todos los riesgos. En Alemania se aprobó el Acta de Ingeniería Genética en 1990, en parte como respuesta a las Directivas de la CE, y también ante la necesidad de autorización legal para construir una instalación de producción de insulina recombinante (Reutsch y Broderick 1996). En Suiza, las leyes se basan en las NIHG de Estados Unidos, en las Directivas del Consejo de la CE y en las leyes alemanas sobre ingeniería genética. La ley suiza requiere el registro anual y actualizaciones de los experimentos ante el gobierno. En general, las normas relativas a ADNr en Europa son más restrictivas que en Estados Unidos, y esto ha contribuido a que muchas empresas farmacéuticas europeas trasladen su investigación sobre ADNr de sus países de origen. Con todo, las

leyes suizas permiten una categoría de nivel 4 de seguridad a gran escala, no permitido en las NIHG (SCBS 1995).

Productos de biotecnología

Algunos de los productos biológicos y farmacéuticos preparados con éxito por biotecnologías de ADN recombinante son: insulina humana; hormona del crecimiento humana; vacunas contra la hepatitis; interferón alfa, beta y gamma; factor estimulante de colonias de granulocitos; activador del plasminógeno tisular; factor estimulante de colonias de granulocitos-macrófagos; IL2; eritropoyetina; Crymax, un insecticida para el control de orugas en hortalizas; cultivos de avellanos y viñas; tomate Flavr Savr (TM); quimogen, una enzima para la preparación de queso; ATIII (antitrombina III), derivada de leche de cabra transgénica utilizada para prevenir los coágulos de sangre en cirugía; BST y PST (somatotropina bovina y porcina) utilizada para estimular la producción de leche y carne.

Problemas de salud y patrones de enfermedad

Son cinco los principales riesgos para la salud derivados de la exposición a microorganismos o sus productos en biotecnología a escala industrial.

- infección
- reacción a endotoxinas
- alergia a los microorganismos
- reacción alérgica a un producto
- reacción tóxica a un producto.

La infección es poco probable, ya que en la mayor parte de los procesos industriales se utilizan organismos no patógenos. No obstante, es posible que microorganismos considerados inocuos como especies de *Pseudomonas* y *Aspergillus* puedan causar infecciones a individuos inmunocomprometidos (Bennett 1990). La exposición a endotoxina, un componente de la capa de lipopolisacáridos de la pared celular de todas las bacterias gram negativas a concentraciones mayores de unos 300 ng/m³ provocan síntomas transitorios semejantes a los de la gripe (Balzer 1994). Los trabajadores de muchas industrias, incluidas la agricultura tradicional y la biotecnología, han experimentado los efectos de la exposición a endotoxinas. En muchas industrias se producen también reacciones alérgicas a los microorganismos o productos. Se ha diagnosticado asma profesional en la industria de la biotecnología para un gran abanico de microorganismos y productos, entre los que se incluyen *Aspergillus niger*, *Penicillium* spp. y proteasas; algunas compañías han observado una incidencia en más del 12 % del personal. Las reacciones tóxicas pueden ser tan variadas como los organismos y productos. Se ha demostrado que la exposición a antibióticos causa desplazamientos de la flora intestinal. Se sabe que algunos hongos pueden producir toxinas y productos cancerígenos en determinadas condiciones de cultivo (Bennett 1990).

Para hacer frente a la preocupación de que los trabajadores expuestos serían los primeros en desarrollar los efectos adversos para la salud resultantes de las nuevas tecnologías, el seguimiento médico de los trabajadores con ADNr ha sido parte de las directrices NIHG desde sus comienzos. Los Institutional Biosafety Committees, con el asesoramiento de los médicos de empresa, son responsables de determinar, proyecto a proyecto, la vigilancia médica apropiada. En función de la identidad del agente específico, la naturaleza del riesgo biológico, las vías potenciales de exposición y la disponibilidad de vacunas, el programa de vigilancia médica puede incluir exámenes físicos antes de la asignación de un puesto, exámenes periódicos de seguimiento, vacunas específicas, evaluaciones de alergia y enfermedades, sueros anteriores a la exposición y análisis epidemiológicos.

En opinión de Bennett (1990), es poco probable que los microorganismos modificados genéticamente planteen un riesgo mayor de infección o alergia que los organismos originales, pero podrían existir riesgos adicionales por el nuevo producto o el ADN. Un informe reciente señala que la expresión de un alérgeno de nuez del Brasil en soja transgénica puede causar efectos inesperados sobre la salud entre trabajadores y consumidores (Nordlee y cols. 1996). Otros riesgos nuevos son el uso de líneas celulares animales con oncogenes desconocidos o no detectados, o virus potencialmente peligrosos para el ser humano.

Es importante señalar que no se han materializado los primeros temores sobre la creación de especies mutantes genéticamente peligrosas o supertoxinas. La OMS ha encontrado que la biotecnología no plantea riesgos distintos a los de otras industrias de proceso (Miller 1983), y, según Liberman, Ducatman y Fink (1990), “actualmente existe consenso en relación con que los riesgos potenciales del ADN fueron exagerados inicialmente y que los riesgos asociados con esta investigación son similares a los asociados con el organismo, el vector, el ADN, los disolventes y los aparatos utilizados”. La conclusión a la que llegan es que los organismos modificados por ingeniería genética tienen riesgos; con todo, se puede aplicar un confinamiento que minimice la exposición.

Es muy difícil identificar las exposiciones profesionales específicas de la biotecnología, ya que no es una industria separada con un código por la Standard Industrial Classification (SIC); por el contrario, se considera un proceso o conjunto de herramientas utilizadas en muchas aplicaciones industriales. En consecuencia, cuando se informa de accidentes y exposiciones, los datos sobre los casos en los que se ven envueltos trabajadores de la biotecnología quedan incluidos entre los datos de todos los demás del sector de las industrias principales (p. ej., agricultura, industria farmacéutica o atención sanitaria). Por otra parte, se sabe que no se comunican muchos de los incidentes y accidentes de laboratorio.

Se han comunicado pocas enfermedades debidas específicamente a ADN alterado genéticamente; no obstante, éstas no son desconocidas. Al menos se ha documentado una infección local con seroconversión cuando un trabajador sufrió un pinchazo con una aguja contaminada con un vector de vacuna recombinante (Openshaw y cols. 1991).

Aspectos relativos a las políticas

En el decenio de 1980 aparecieron los primeros productos de biotecnología en Estados Unidos y Europa. El uso de la insulina obtenida por ingeniería genética fue aprobado en 1982, al igual que una vacuna contra la disentería porcina (Sattelle 1991). Se ha demostrado que la somatotropina bovina recombinante (BST) aumenta la producción de la leche de cabra y el peso del ganado bovino. Entonces surgieron preocupaciones sobre la salud pública y la seguridad del producto y sobre si las leyes existentes eran adecuadas para hacer frente a estas preocupaciones en todas las distintas áreas en que los productos de biotecnología podrían comercializarse. Las NIHG proporcionan protección para los trabajadores y el medio ambiente durante las etapas de investigación y desarrollo. La seguridad y la eficacia del producto no son competencia de las NIHG. En Estados Unidos, a través del Coordinated Framework, los posibles riesgos de los productos de biotecnología son evaluados por el organismo más apropiado (FDA, EPA o USDA).

Aún continúa el debate sobre la seguridad de la ingeniería genética y los productos de biotecnología (Thomas y Myers 1993), sobre todo con respecto a las aplicaciones agrícolas y los alimentos para consumo humano. Los consumidores de algunos países desean que se etiqueten los productos de manera que se identifiquen los híbridos tradicionales y los derivados de la

biotecnología. Algunos fabricantes de derivados lácteos rechazan el uso de la leche de cabras que reciben BST, prohibida en algunos países (p. ej., en Suiza). La FDA estima que los productos son seguros, pero existen también aspectos económicos y sociales tal vez inaceptables para el público. La BST puede suponer un inconveniente para las granjas más pequeñas, la mayor parte de las cuales son familiares. A diferencia de las aplicaciones médicas en donde puede no existir una alternativa al tratamiento obtenido por ingeniería genética, cuando se dispone de alimentos tradicionales en cantidad suficiente, el público prefiere hibridaciones tradicionales a los alimentos recombinantes. Con todo, los medios hostiles y la carestía actual de alimentos a nivel mundial pueden cambiar esta actitud.

Las aplicaciones más recientes de la tecnología a la salud humana y a las enfermedades hereditarias ha reavivado las preocupaciones y creado nuevos aspectos éticos y sociales. El proyecto Genoma Humano, que comenzó en el decenio de 1980, dará lugar a un mapa físico y genético del material genético humano. Este mapa facilitará a los investigadores información para comparar la expresión de genes “sanos o normales” y “enfermos”, con objeto de comprender, predecir y buscar curación a los defectos genéticos básicos. Las tecnologías del Genoma Humano han desarrollado nuevas pruebas diagnósticas para la enfermedad de Huntington, la fibrosis quística y los cánceres de mama y colon. Se espera que la terapia génica humana somática corrija o mejore los tratamientos para enfermedades hereditarias. La obtención de la “huella dactilar” de ADN por cartografía de fragmentos de restricción de material genético se utiliza como prueba forense en casos de violación, secuestro y homicidio. Se puede utilizar para probar (o descartar técnicamente) la paternidad. Asimismo se aplica a otras áreas controvertidas, como la evaluación de las posibilidades de desarrollo de cáncer y enfermedades coronarias para la cobertura de seguros y tratamientos preventivos o como prueba en tribunales de guerra y “chapa de identificación” genética en el ejército.

A pesar de que es técnicamente factible, en Estados Unidos no se ha considerado la aprobación de los experimentos con líneas germinativas humanas (transmisibles de generación en generación) debido a consideraciones sociales y éticas graves. No obstante, en dicho país se han programado conferencias públicas para reabrir el debate sobre terapia de líneas germinativas humanas y la expresión de caracteres deseados no asociados con enfermedades.

Por último, además de los aspectos de seguridad, sociales y éticos, aún evolucionan las teorías legales sobre la posesión de genes y ADN y la responsabilidad sobre su buen o mal uso.

Es necesario seguir las implicaciones a largo plazo de la liberación al ambiente de distintos agentes. El nuevo confinamiento biológico y el número limitado de hospedadores contribuirán a un trabajo cuidadosa y apropiadamente controlado en el medio ambiente del laboratorio, para el que sin embargo no se conocen todas las posibilidades ambientales. Los países en desarrollo, en los que pueden no existir expertos científicos adecuados ni organismos reguladores, pueden estar poco dispuestos o ser incapaces de realizar la evaluación del riesgo para su medio ambiente particular. Esto podría originar restricciones innecesarias o una política de “puertas abiertas” imprudente; cualquiera de las dos opciones perjudicaría a largo plazo al país (Ho 1996).

Por otra parte, es importante tener precaución cuando se introducen agentes agrícolas modificados por ingeniería genética en nuevos entornos en los que no existen las heladas ni otros controles naturales de confinamiento. ¿Será posible que las poblaciones indígenas o los intercambiadores naturales de información genética se aparezcan con agentes recombinantes causando la transferencia de caracteres modificados por

ingeniería genética? ¿Serán estos caracteres nocivos en otros agentes? ¿Cuál será el efecto sobre los administradores de tratamientos? ¿Las reacciones inmunes limitarán la diseminación? ¿Los agentes vivos modificados por ingeniería genética son capaces de cruzar las barreras de las especies? ¿Persisten en desiertos, montañas, llanuras y ciudades?

Resumen

En Estados Unidos la moderna biotecnología se ha elaborado desde principios del decenio de 1970 al amparo de las directrices de consenso y ordenanzas locales. Los estudios detallados no han demostrado aspectos inesperados e incontrolables en organismos recombinantes. Es una tecnología útil, sin la cual no hubieran sido posibles numerosos avances médicos basados en proteínas terapéuticas naturales. En muchos países desarrollados la biotecnología es una fuerza económica de primer orden, debido a la industria que se ha desarrollado en torno a la revolución biotecnológica.

Los problemas médicos para los trabajadores de la biotecnología están relacionados con los riesgos del hospedador específico, el vector y el ADN, y las operaciones físicas realizadas. Hasta ahora las enfermedades de los trabajadores se han prevenido mediante mejoras técnicas, prácticas de trabajo, vacunas y controles de confinamiento biológico, específicos para el riesgo y evaluados caso por caso. También se cuenta con la infraestructura administrativa para realizar evaluaciones prospectivas de riesgos para cada nuevo protocolo experimental. Mantener la seguridad en la liberación al medio ambiente de materiales viables, depende de la evaluación continua de la posible persistencia de los riesgos ambientales, la dispersión, los intercambiadores naturales, las características de la célula hospedadora, la especificidad del rango de hospedadores para los agentes de transferencia utilizados, la naturaleza del gen insertado, etc. Es importante considerar todos los entornos posibles y las especies afectadas con objeto de minimizar las sorpresas que a menudo nos ofrece la naturaleza.

● INDUSTRIA PIROTECNICA

*J. Kroeger**

La industria pirotécnica puede definirse como la fabricación de artículos pirotécnicos (fuegos artificiales) para entretenimiento, uso técnico y militar en señalización e iluminación, aplicación como plaguicida y para otros fines. Estos artículos contienen sustancias pirotécnicas compuestas de polvos o pastas conformadas, compactadas o comprimidas. Cuando se encienden, la energía que contienen se libera provocando unos efectos específicos, como iluminación, detonación, silbidos, ruidos, formación de humo, combustión lenta, propulsión, ignición, cebado, disparo y disgregación. La sustancia pirotécnica más importante es aún la pólvora negra (pólvora, formada por carbón vegetal, azufre y nitrato potásico), y se puede utilizar suelta o para detonación, compactada para propulsión o disparo, o amortiguada con carbón vegetal como cebo.

Procesos

Las materias primas utilizadas en la fabricación de artículos pirotécnicos deben ser muy puras, exentas de impurezas mecánicas y (sobre todo) de ingredientes ácidos. Esto se aplica también a los materiales auxiliares, como papel, cartón y cola. La Tabla 77.12

*Adaptado de la tercera edición, *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*.

ofrece una relación de materias primas comunes utilizadas en la fabricación de artículos pirotécnicos.

Una vez secas, trituradas y tamizadas, las materias primas se pesan y mezclan en un edificio especial. Antes se mezclaban siempre a mano, pero en las plantas modernas se utilizan a menudo mezcladores mecánicos. Después de la mezcla, las sustancias se deben guardar en almacenes especiales con objeto de evitar la acumulación en el lugar de trabajo. Solamente se introducirán las cantidades necesarias para las operaciones de proceso.

Los estuches para los artículos pirotécnicos deben ser de papel, cartón, material sintético o metal. El método de envasado varía. Por ejemplo, para la detonación, la mezcla se introduce suelta en un estuche y se sella, mientras que para la propulsión, iluminación, ruido o silbido se introduce suelta en el estuche y después se compacta o comprime y se sella.

La compresión o compactación se realizaban mediante golpes de mazo sobre una herramienta de "asentamiento" de madera, pero este método se emplea poco en las instalaciones modernas; en su lugar se utilizan prensas hidráulicas o prensas de grageas rotativas. Las prensas hidráulicas permiten comprimir la composición simultáneamente en varios estuches.

Las sustancias para la iluminación suelen conformarse en húmedo para formar estrellas, que se secan e introducen en estuches para cohetes, bombas, etc. Estas sustancias preparadas en húmedo deben secarse bien o corren peligro de inflamarse espontáneamente.

Dado que es difícil encender muchas sustancias pirotécnicas cuando están comprimidas, los artículos pirotécnicos en cuestión se presentan con un ingrediente intermediario o cebador para garantizar la ignición; entonces el estuche se sella. El artículo se enciende desde el exterior mediante una cerilla, un fusible, un rascador o una cápsula fulminante.

Tabla 77.12 • Materias primas utilizadas en la fabricación de productos pirotécnicos.

Productos	Materias primas
Explosivos	Nitrocelulosa (lana de colodión), fulminante de plata, pólvora negra (nitrato de potasio, azufre y carbón vegetal).
Materiales combustibles	Resina acaroide, dextrina, ácido gálico, goma arábica, madera, carbón vegetal, colofonia, lactosa, cloruro de polivinilo (PVC), goma laca, metilcelulosa, sulfuro de antimonio, aluminio, magnesio, silicio, zinc, fósforo, azufre.
Materiales oxidantes	Clorato potásico, clorato de bario, potasio, perclorato, nitrato de bario, nitrato potásico, nitrato sódico, nitrato de estroncio, peróxido de bario, dióxido de plomo, óxido de cromo.
Colorantes de llamas	Carbonato de bario (verde), criolita (amarillo), cobre, sulfato amónico (azul), oxalato sódico (amarillo), carbonato de cobre (azul), arsenito acetato de cobre (azul), carbonato de estroncio (rojo), oxalato de estroncio (rojo). Se utilizan colorantes para producir humo coloreado, y cloruro amónico para producir humo blanco.
Materiales inertes	Triesteatato de glicerilo, parafina, tierra de diatomeas, cal, creta.

Riesgos

Los riesgos más importantes en la industria pirotécnica son, evidentemente, el fuego y las explosiones. Debido al pequeño número de máquinas implicadas, los riesgos mecánicos son menos importantes; son similares a los de otras industrias.

La sensibilidad de la mayor parte de las sustancias pirotécnicas es tal que en forma suelta se pueden encender fácilmente mediante golpes, fricción, chispas y calor. Presentan riesgos de incendio y explosión y se consideran explosivos. Muchas sustancias pirotécnicas tienen el efecto explosivo de los explosivos ordinarios, de forma que los trabajadores pueden quemarse el cuerpo o la ropa con las llamas.

En el curso del tratamiento de sustancias tóxicas utilizadas en productos pirotécnicos (p. ej., compuestos de plomo y bario y arsenito de acetato de cobre), existe el riesgo de inhalación del polvo durante la pesada y el mezclado.

Medidas de seguridad y salud

En la fabricación de sustancias pirotécnicas solamente se podrán emplear personas mayores de 18 años. Es necesario dar las instrucciones adecuadas y supervisar a los trabajadores.

Antes de iniciar un proceso de fabricación es importante evaluar la sensibilidad de las sustancias pirotécnicas a la fricción, el impacto y el calor, y también su acción explosiva. La naturaleza del proceso de fabricación y las cantidades permisibles en las salas de trabajo y los edificios de secado y almacenamiento dependerán de estas propiedades.

En la fabricación de sustancias y artículos pirotécnicos se deben adoptar las precauciones fundamentales siguientes:

- Los edificios de la parte no peligrosa (oficinas, talleres, áreas de descanso, etc.) deben estar situadas a distancia de las áreas peligrosas.
- Deben existir edificios separados de fabricación, procesado y almacenamiento para los distintos procesos de fabricación en las áreas peligrosas; estos edificios deben encontrarse bien separados.
- Los edificios de procesado se deben dividir en salas separadas.
- Deben limitarse las cantidades de sustancias pirotécnicas en los edificios de mezclado, procesado, almacenamiento y secado.
- Debe limitarse el número de trabajadores en las distintas salas.

Se recomiendan las distancias siguientes:

- entre los edificios de las áreas peligrosas y los de las áreas no peligrosas, al menos 30 m;
- entre los distintos edificios de procesado, 15 m;
- entre los edificios de mezclado, secado y almacenamiento y otros edificios, 20 a 40 m en función de la construcción y el número de trabajadores afectados,
- entre los distintos edificios de mezclado, secado y almacenamiento, de 15 a 20 m.

En circunstancias favorables, se pueden reducir las distancias entre los lugares de trabajo, también si entre ellos se construyen paredes protectoras.

Se debe disponer de edificios separados para las funciones siguientes: almacenamiento y preparación de las materias primas, mezclado, almacenamiento de composiciones, procesado (envasado, compactado o compresión) secado, acabado, (encolado, barnizado, envasado, parafinado, etc.), secado y almacenado de los artículos terminados y almacenamiento de pólvora.

Se deben almacenar en salas aisladas las materias primas siguientes: cloratos y percloratos, perclorato amónico; nitratos, peróxidos y otras sustancias oxidantes; metales ligeros; sustancias combustibles; líquidos inflamables; fósforo rojo; nitrocelulosa.

Esta se debe guardar húmeda. Los polvos metálicos deben protegerse contra la humedad, los aceites grasos y la grasa. Los oxidantes se deben almacenar por separado.

Diseño de los edificios

En el caso del mezclado, los más adecuados son los edificios con venteo contra explosión (tres paredes y tejado resistentes y una pared de venteo contra explosiones con revestimiento de plástico). Se recomienda una pared protectora delante de la pared de venteo contra explosiones. No deben utilizarse las salas de mezclado de sustancias con cloratos para sustancias con metales o sulfuro de antimonio.

En cuanto al secado, los edificios con un área de venteo contra explosiones y los edificios cubiertos con tierra y provistos de una pared de venteo contra explosiones son satisfactorios. Deben estar rodeados por un muro. En los edificios de secado se recomienda una temperatura ambiente controlada de 50 °C.

En los edificios de manipulación debe haber salas independientes para: llenado; compresión o compactación; cortado, engarzado y cierre de los estuches; lavado de sustancias pirotécnicas conformadas y comprimidas; cebado de sustancias pirotécnicas; almacenamiento de sustancias pirotécnicas y productos intermedios; envasado y almacenamiento de sustancias envasadas. Se ha encontrado que la disposición más adecuada es una hilera de edificios con áreas de venteo contra explosiones. La resistencia de las paredes intermedias debe adecuarse a la naturaleza y cantidad de las sustancias manipuladas.

He aquí algunas reglas básicas para edificios en los que pueden estar presentes o utilizarse materiales explosivos:

- Los edificios deben tener un solo piso y no tener sótanos.
- Las superficies de los tejados deben permitir una protección suficiente contra la dispersión del fuego.
- Las paredes de las salas deben ser lisas y lavables.
- Los suelos deben tener una superficie lisa y plana sin orificios. Debe ser de un material blando como xilotita, asfalto exento de arena y materiales sintéticos. No deben utilizarse suelos de madera ordinarios. Los suelos de las salas peligrosas deben ser conductores eléctricos, y los trabajadores llevarán zapatos con suelas conductoras de la electricidad.
- Las puertas y las ventanas de todos los edificios deben tener salida al exterior. Durante las horas de trabajo no se cerrarán las puertas con llave.
- No se permite la calefacción de los edificios con llamas abiertas. Para la calefacción de los edificios peligrosos solamente se utilizarán agua caliente, vapor a baja presión o sistemas eléctricos estancos al polvo. Los radiadores deben ser lisos y fáciles de limpiar; no se deben utilizar radiadores con tuberías finas. Se recomienda una temperatura de 115 °C para calentar superficies y tuberías.
- Las mesas y estanterías deben ser de materiales resistentes al fuego o madera dura.
- Las salas de trabajo, almacenamiento y secado y sus equipos se deben limpiar regularmente mediante aspiración en húmedo.
- Los lugares de trabajo, las entradas y salidas de emergencia deben diseñarse de tal forma que las salas puedan evacuarse rápidamente.
- En la medida de lo posible, se deben separar los lugares de trabajo mediante paredes protectoras.
- Las materias primas necesarias deben guardarse en lugar seguro.
- Todos los edificios deben estar equipados con pararrayos.
- Se debe prohibir fumar, las llamas abiertas y llevar cerillas y encendedores en las instalaciones.

Equipos

Las prensas mecánicas deben tener pantallas o paredes protectoras, de forma que si se declara un incendio los trabajadores no estén en peligro y el fuego no se pueda extender a los lugares de trabajo contiguos. Si se manipulan grandes cantidades de material, las prensas deben estar en salas aisladas y manejarse desde el exterior, sin que nadie permanezca en el interior de la sala.

Se debe disponer de suficientes extintores de incendios, marcados y revisados regularmente, y adecuados a la naturaleza de los materiales presentes. Se utilizarán extintores de clase D sobre polvo metálico en combustión, no agua, espuma, productos químicos secos o dióxido de carbono. Se recomiendan duchas, mantas de lana y mantas retardantes del fuego para apagar las ropas en llamas.

Las personas que entren en contacto con sustancias pirotécnicas o puedan estar amenazadas por las llamas deben llevar ropas protectoras resistentes al fuego y al calor. La ropa se

desempolvendrá diariamente en un lugar previsto para la eliminación de contaminantes.

Se adoptarán medidas para proporcionar primeros auxilios en caso de accidentes.

Materiales

Se deben recoger por separado los residuos peligrosos con propiedades diferentes, y vaciar diariamente los contenedores de residuos. Hasta su destrucción, los residuos recogidos se guardarán en un lugar protegido al menos a 15 m de cualquier edificio. Los productos defectuosos e intermedios se deben tratar como residuos. Solamente serán reprocesados si ello no implica riesgos.

Se evitará el contacto directo con materiales nocivos para la salud cuando se manipulen. Se deben eliminar con eficacia y seguridad los gases, vapores y polvos nocivos. Si los sistemas de ventilación no son adecuados, deben llevarse equipos de protección respiratoria y ropa protectora adecuada.

Referencias

- Adams, WV, RR Dingman, JC Parker. 1995. Dual gas sealing technology for pumps. Actas del 12 International Pump Users Symposium. March, College Station, TX.
- American Petroleum Institute (API). 1994. *Shaft Sealing Systems for Centrifugal Pumps*. API Standard 682. Washington, DC: API.
- Auger, JE. 1995. Build a proper PSM program from the ground-up. *Chemical Engineering Progress* 91:47-53.
- Bahner, M. 1996. Level-measurement tools keep tank contents where they belong. *Environmental Engineering World* 2:27-31.
- Balzer, K. 1994. Strategies for developing biosafety programs in biotechnology facilities. Presentado en el 3 Simposio Nacional sobre la Biosfera, 1 marzo, Atlanta, Georgia.
- Barletta, T, R Bayle, K Kennelley. 1995. TAPS storage tank bottom: Fitted with improved connection. *Oil & Gas Journal* 93:89-94.
- Bartknecht, W. 1989. *Dust Explosions*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Basta, N. 1994. Technology lifts the VOC cloud. *Chemical Engineering* 101:43-48.
- Bennett, AM. 1990. *Health Hazards in Biotechnology*. Salisbury, Wiltshire, Reino Unido: Division of Biologicals, Public Health Laboratory Service, Centre for Applied Microbiology and Research.
- Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA). 1997. *Measurement of Hazardous Substances: Determination of Exposure to Chemical and Biological Agents*. BIA Working Folder. Bielefeld: Erich Schmidt Verlag.
- Bewanger, PC, RA Kreter. 1995. Making safety data "safe". *Chemical Engineering* 102:62-66.
- Boicourt, GW. 1995. Emergency relief system (ERS) design: An integrated approach using DIERS methodology. *Process Safety Progress* 14:93-106.
- Carroll, LA, EN Ruddy. 1993. Select the best VOC control strategy. *Chemical Engineering Progress* 89:28-35.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). 1988. *Guidelines for Safe Storage and Handling of High Toxic Hazard Materials*. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- . 1993. *Guidelines for Engineering Design for Process Safety*. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- Cesana, C, R Siwek. 1995. Ignition behavior of dusts meaning and interpretation. *Process Safety Progress* 14:107-119.
- Chemical and Engineering News*. 1996. Facts and figures for the chemical industry. *C&EN* (24 junio):38-79.
- Chemical Manufacturers Association (CMA). 1985. *Process Safety Management (Control of Acute Hazards)*. Washington, DC: CMA.
- Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP). En imprenta. *Practical Guide for Safety in the Use of RF Dielectric Heaters and Sealers*. Ginebra: OIT.
- Committee on Recombinant DNA Molecules, Assembly of Life Sciences, National Research Council, National Academy of Sciences. 1974. Cartas al director. *Science* 185:303.
- Consejo de la Comunidad Europea. 1990a. Directiva del Consejo de 26 de noviembre 1990 sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. 90/679/CCE. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* 50(374):1-12.
- . 1990b. Directiva del Consejo de 23 abril 1990 sobre liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente. 90/220/CEE. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* 50(117): 15-27.
- Dow Chemical Company. 1994a. *Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide*, 7ª edición. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- . 1994b. *Dow's Chemical Exposure Index Guide*. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- Ebadat, V. 1994. Testing to assess your powder's fire and explosion hazards. *Powder and Bulk Engineering* 14:19-26.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1996. Proposed guidelines for ecological risk assessment. *Federal Register* 61.
- Fone, CJ. 1995. The application of innovation and technology to the containment of shaft seals. Presentado en la First European Conference on Controlling Fugitive Emissions from Valves, Pumps, and Flanges, 18-19 octubre, Amberes.
- Foudin, AS, C Gay. 1995. Introduction of genetically engineered microorganisms into the environment: Review under USDA, APHIS regulatory authority. En *Engineered Organisms in Environmental Settings: Biotechnological and Agricultural Applications*, dirigido por MA Levin y E Israeli. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Freifelder, D (dir.). 1978. The controversy. En *Recombinant DNA*. San Francisco, California: WH Freeman.
- Garzia, HW, JA Senecal. 1996. Explosion protection of pipe systems conveying combustible dusts or flammable gases. Presentado en el 30 Loss Prevention Symposium, 27 febrero, Nueva Orleans, Los Angeles.
- Green, DW, JO Maloney, RH Perry (dirs.). 1984. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 6ª edición. Nueva York: McGraw-Hill.
- Hagen, T, R Rials. 1994. Leak-detection method ensures integrity of double bottom storage tanks. *Oil & Gas Journal* (14 noviembre).
- Ho, M-W. 1996. Are current transgenic technologies safe? Presentado en el Workshop on Capacity Building in Biosafety for Developing Countries, 22-23 mayo, Estocolmo.
- Industrial Biotechnology Association. 1990. *Biotechnology in Perspective*. Cambridge, Reino Unido: Hobsons Publishing plc.
- Industrial Risk Insurers (IRI). 1991. *Plant Layout and Spacing for Oil and Chemical Plants*. IRI Information Manual 2.5.2. Hartford, Connecticut: IRI.
- Lee, SB, LP Ryan. 1996. Occupational health and safety in the biotechnology industry: A survey of practicing professionals. *Am Ind Hyg Assoc J* 57:381-386.
- Legaspi, JA, C Zenz. 1994. Occupational health aspects of pesticides: Clinical and hygienic principles. En *Occupational Medicine*, 3ª edición, dirigido por C Zenz, OB Dickerson y EP Horvath. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.
- Lieberman, DF, AM Ducatman, R Fink. 1990. Biotechnology: Is there a role for medical surveillance? En *Bioprocessing Safety: Worker and Community Safety and Health Considerations*. Filadelfia, Pensilvania: American Society for Testing and Materials.
- Lieberman, DF, L Wolfe, R Fink, E Gilman. 1996. Biological safety considerations for environmental release of transgenic organisms and plants. En *Engineered Organisms in Environmental Settings: Biotechnological and Agricultural Applications*, dirigido por MA Levin y E Israeli. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Lichtenstein, N, K Quellmalz. 1984. Flüchtige Zersetzungsprodukte von Kunststoffen I: ABS-Polymer. *Staub-Reinhalt* 44(1):472-474.
- . 1986a. Flüchtige Zersetzungsprodukte von Kunststoffen II: Polyethylen. *Staub-Reinhalt* 46(1):11-13.
- . 1986b. Flüchtige Zersetzungsprodukte von Kunststoffen III: Polyamide. *Staub-Reinhalt* 46(1):197-198.
- . 1986c. Flüchtige Zersetzungsprodukte von Kunststoffen IV: Polycarbonat. *Staub-Reinhalt* 46(7/8):348-350.
- Lipton, S, JR Lynch. 1994. *Handbook of Health Hazard Control in the Chemical Process Industry*. Nueva York: John Wiley & Sons.

- Massachusetts Biotechnology Council Community Relations Committee. 1993. Estadísticas no publicadas.
- Mecklenburgh, JC. 1985. *Process Plant Layout*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Miller, H. 1983. Informe sobre el Grupo de Trabajo de la Organización Mundial de la Salud sobre Implicaciones de la Biotecnología en la Salud. *Recombinant DNA Technical Bulletin* 6:65-66.
- Miller, HI, MA Tart, TS Bozzo. 1994. Manufacturing new biotech products: Gains and growing pains. *J Chem Technol Biotechnol* 59:3-7.
- Moretti, EC, N Mukhopadhyay. 1993. VOC control: Current practices and future trends. *Chemical Engineering Progress* 89:20-26.
- Mowrer, DS. 1995. Use quantitative analysis to manage fire risk. *Hydrocarbon Processing* 74:52-56.
- Murphy, MR. 1994. Prepare for EPA's risk management program rule. *Chemical Engineering Progress* 90:77-82.
- National Fire Protection Association (NFPA). 1990. *Flammable and Combustible Liquid*. NFPA 30. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1984. *Recommendations for Control of Occupational Safety and Health Hazards. Manufacture of Paint and Allied Coating Products*. DHSS (NIOSH) Publication No. 84-115. Cincinnati, OH: NIOSH.
- National Institute of Health (Japan). 1996. Personal communication.
- National Institutes of Health (NIH). 1976. Recombinant DNA research. *Federal Register* 41:27902-27905.
- . 1991. Recombinant DNA research actions under the guidelines. *Federal Register* 56:138.
- . 1996. Guidelines for research involving recombinant DNA molecules. *Federal Register* 61:10004.
- Netzel, JP. 1996. Seal technology: A control for industrial pollution. Presentado en los 45th Society of Tribologists and Lubrication Engineers Annual Meetings. 7-10 May, Denver.
- Nordlee, JA, SL Taylor, JA Townsend, LA Thomas, and RK Bush. 1996. Identification of a Brazil-nut allergen in transgenic soybeans. *New Engl J Med* 334 (11):688-692.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 1984. 50 FR 14468. Washington, DC: OSHA.
- . 1994. CFR 1910.06. Washington, DC: OSHA.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP). 1986. *Coordinated Framework for Biotechnology Regulation*. FR 23303. Washington, DC: OSTP.
- Openshaw, PJ, WH Alwan, AH Cherie, FM Record. 1991. Accidental infection of laboratory worker with recombinant vaccinia virus. *Lancet* 338.(8764):459.
- Parlamento de las Comunidades Europeas. 1987. Tratado por el que se establece una Consejo Unico y una Comisión Unica de las Comunidades Europeas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* 50(152):2.
- Pennington, RL. 1996. VOC and HAP control operations. *Separations and Filtration Systems Magazine* 2:18-24.
- Pratt, D, J May. 1994. Agricultural occupational medicine. En *Occupational Medicine*, 3ª edición, dirigida por C Zenz, OB Dickerson y EP Horvath. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.
- Reutsch, C-J, TR Broderick. 1996. New biotechnology legislation in the European Community and Federal Republic of Germany. *Biotechnology*.
- Sattelle, D. 1991. Biotechnology in perspective. *Lancet* 338:9,28.
- Scheff, PA, RA Wadden. 1987. *Engineering Design for Control of Workplace Hazards*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Siegl, JH. 1996. Exploring VOC control options. *Chemical Engineering* 103:92-96.
- Society of Tribologists and Lubrication Engineers (STLE). 1994. *Guidelines for Meeting Emission Regulations for Rotating Machinery with Mechanical Seals*. STLE Special Publication SP-30. Park Ridge, Illinois: STLE.
- Sutton, IS. 1995. Integrated management systems improve plant reliability. *Hydrocarbon Processing* 74:63-66.
- Swiss Interdisciplinary Committee for Biosafety in Research and Technology (SCBS). 1995. *Guidelines for Work with Genetically Modified Organisms*. Zurich: SCBS.
- Thomas, JA, LA Myers (dirs.). 1993. *Biotechnology and Safety Assessment*. Nueva York: Raven Press.
- Van Houten, J, DO Flemming. 1993. Comparative analysis of current US and EC biosafety regulations and their impact on the industry. *Journal of Industrial Microbiology* 11:209-215.
- Watrud, LS, SG Metz, DA Fishoff. 1996. Engineered plants in the environment. En *Engineered Organisms in Environmental Settings: Biotechnological and Agricultural Applications*, edited by M Levin and E Israeli. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Woods, DR. 1995. *Process Design and Engineering Practice*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey: Prentice Hall.

Otras lecturas recomendadas

- American Petroleum Institute (API). 1990. *Management of Process Hazards*. RP 750. Washington, DC: API.
- . 1992. *Management Practices, Self-assessment Process, and Resource Materials*. RP 9000. Washington, DC: API.
- . 1995. *Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Buildings*. RP 752. Washington, DC: API.
- Burgess, WA. 1995. *Recognition of Health Hazards in Industry*, 2ª edición. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). 1985. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- . 1989. *Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety*. Nueva York: American Institute of Chemical Engineers.
- Comisión Económica para Europa- Naciones Unidas (CEPE). 1993. *The Chemical Industry in 1992: Annual Review-Production and Trade Statistics, 1989-1991*. Ginebra: CEPE.
- National Institute for Occupational Safety and Health. 1981. *Control Technology in the Plastics and Resin Industry*. DHHS (NIOSH) Publication No. 81-107. Washington, DC: GPO.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 1992. 29 CFR Part 1910, *Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, Explosives and Blasting Agents, Final Rule*. Washington, DC: OSHA.
- Society of the Plastics Industry and National Safety Council. 1981. *Plastics Industry Safety Handbook*. Boston: Society of the Plastics Industry.

