

Reducción del riesgo en la operación y el mantenimiento

«... Debe ser ponderado en sus reflexiones y en sus movimientos, sin crearse temores imaginarios y actuando mesuradamente, con prudencia y humanidad para que la excesiva confianza no lo haga incauto...»

El Príncipe, cap. XVII, Nicolás Maquiavelo

Reducción del riesgo en la operación

El diseño de una planta química nunca puede ser absolutamente seguro, completamente «a prueba de errores humanos». La complejidad de las operaciones a llevar a cabo, la enorme variedad de condiciones de trabajo, la adaptación a las condiciones de las materias primas y el siempre posible acontecimiento de un fallo no previsto son factores que hacen de la correcta operación de una planta un factor tan importante como el diseño inicial.

No se puede asegurar que una planta bien diseñada, completamente automatizada y con la mejor tecnología existente no pueda sufrir un accidente grave debido a un fallo de comunicación, a una operación de puesta en marcha realizada en un orden incorrecto, a un control insuficiente sobre las modificaciones o procedimientos de mantenimiento inadecuados, etc.

Igualmente, una planta originalmente segura puede dejar de serlo si no se maneja y mantiene con el máximo cuidado. Los accidentes de Flixborough y Bhopal son dos casos típicos causados por graves negligencias, tal y como describe en el apéndice.

Para controlar los procesos se recurre cada vez más a complejos sistemas automáticos. El manejo de éstos requiere operarios cualificados y entrenados. Los programas de formación y adiestramiento y las simulaciones dinámicas del funcionamiento de las plantas son, cada vez más, elementos vitales de los sistemas de gestión necesarios para lograr un alto grado de seguridad en una planta química.

Sistemas de gestión de la seguridad y del medio ambiente

Tradicionalmente la seguridad se ha gestionado como un programa, similar a los existentes en otras áreas de la empresa, basados en *slogans* y objetivos. El principal problema al que lleva esta orientación es la dimensión de «moda» que le confiere. La eficacia del programa puede sufrir, con el consiguiente riesgo, cuando otros objetivos distraen la atención de él.

El concepto de sistema de gestión (*management system*) mejora la efectividad mediante una aproximación distinta. Un sistema de gestión es un modo de trabajo que asegura de una manera continua y sistemática el seguimiento de las normas y procedimientos establecidos. Los sistemas de gestión deben establecerse por la dirección de la empresa, que realizará revisiones periódicas de su eficacia. De esta manera se consigue evitar los vaivenes de los programas clásicos.

Cada vez existen más normas y legislación, tanto a nivel nacional como europeo sobre seguridad y prevención de accidentes en la industria química. La directiva Seveso de la CEE ha marcado un hito histórico, exigiendo a aquellas industrias que manejen compuestos peligrosos por encima de unas determinadas cantidades la notificación de los riesgos a la entidad gubernamental correspondiente y el establecimiento de planes de emergencia internos y externos. Le han seguido documentos como:

- Los Reales Decretos RD 886/1988, de 15 de julio, y RD 952/1990, de 29 de junio, que transponen la directiva Seveso (82/501/CEE, 87/216/CEE y 88/610/CEE) a la legislación española.
- La ley estadounidense de gestión de la seguridad de los procesos que involucren productos químicos peligrosos: *Process safety management of hazardous chemicals* (OSHA 29 CFR 1910.119, febrero 1992) (11), (30).
- La norma británica BS 7750 (*Environmental management systems*) (17) sobre sistemas de gestión medioambiental, basada en el esquema adoptado por la gestión de calidad en la serie de normas ISO 9000 [UNE 66900 (16)].
- La práctica recomendada API RP 750 *Management of process hazards* (12).

Todas estas normas, en mayor o menor grado, exigen o definen un sistema de gestión de la seguridad. Algunas de ellas se limitan a las

actividades relacionadas con un determinado tipo de productos (tóxicos, inflamables...), pero su filosofía es muy similar.

El Center for Chemical Process Safety (CCPS) del AIChE propone (4), (21) doce elementos básicos que deben abordarse específicamente por un sistema de gestión de la seguridad.

1. Responsabilidad, política y objetivos.
2. Conocimiento y documentación del proceso.
3. Revisión de proyectos y procedimientos de diseño.
4. Gestión de los riesgos del proceso.
5. Gestión del cambio (modificaciones en las instalaciones, en los procedimientos de operación, etc.).
6. Adecuación del proceso y de los equipos.
7. Investigación de incidentes.
8. Formación y evaluación del desempeño del personal.
9. Factores humanos.
10. Normas, códigos y leyes.
11. Auditorías y acciones correctivas.
12. Mejora de los conocimientos sobre la seguridad de los procesos.

Estos elementos no son independientes, sino que alcanzan su máxima eficacia cuando se cumplen simultáneamente, de forma sinérgica. Es su impregnación en la filosofía de la empresa lo que hace que el sistema alcance su objetivo. La adecuación del sistema de gestión influye directamente en los resultados de seguridad de la empresa, a través de la creación de un entorno sociotécnico favorable o desfavorable. La cuantificación de la adecuación de los sistemas de gestión se ha discutido por Jenssen (29). Aunque son técnicas todavía restringidas, algunos índices permiten corregir las frecuencias de fallo normales para algunos equipos, en función del sistema de gestión de la empresa, reflejando la influencia que una buena gestión de los riesgos tiene en la reducción del número de accidentes, incluso en aspectos atribuibles a los equipos, debido a buenas prácticas de diseño y mantenimiento. En la figura 8.1 se muestra cómo intervienen los diferentes aspectos de un sistema de gestión en la consecución de una operación segura. Las posibles causas de accidentes bajan desde las más directas e inmediatas hasta las que se encuentran en la raíz del problema, relacionadas con las bases del sistema de gestión.

Otro concepto recientemente introducido es el de «cuidado responsable» (8) (*responsible care*), que va un paso más allá de las normativas de seguridad antes citadas, acercándose a los modelos de calidad total.



Figura 8.1. Pirámide de los distintos niveles de causas de accidentes en relación con el sistema de gestión de seguridad. (Basado en la referencia 29.)

Es un programa voluntario promovido por las asociaciones empresariales químicas, dentro del cual se engloban todas las actividades de la empresa que garantizan que el impacto ambiental de la empresa, entendido en el sentido más amplio, se mantenga en un nivel mínimo. Incluye seis aspectos, cada uno sujeto a un código de requisitos a cumplir:

- Seguridad de procesos (incluyendo análisis de riesgos).
- Prevención de la contaminación (gestión medioambiental).
- *Product stewardship* (seguimiento de la vida del producto, reciclaje e impacto ambiental).
- Seguridad e higiene en el trabajo.
- Información a la comunidad y planificación de emergencias.
- Distribución del producto.

Bases de un sistema de control de la seguridad

Todo sistema de gestión de la seguridad debe partir de una base sólida, definida en una política escrita y firmada por la dirección de la empresa. Esta política es la piedra angular sobre la que se basa el sistema. En este caso debe definir claramente la visión estratégica de la

organización acerca de la seguridad de los empleados, las instalaciones y la comunidad.

La clave para el éxito en la implantación de un sistema de gestión de la seguridad estriba en el apoyo que reciba por parte de la dirección. La dirección debe transmitir a lo largo de la línea jerárquica su preocupación por este tema, y proveer los medios técnicos, humanos y monetarios necesarios. En las revisiones periódicas, basadas principalmente en los informes de auditorías, investigaciones de incidentes y otras estadísticas, se definen los objetivos a medio y corto plazo.

Para conseguir alcanzar estos objetivos es preciso no sólo fijar la meta (si es posible concretada mediante una cifra) a alcanzar y el plazo, sino también establecer procedimientos de control y seguimiento de la efectividad. Un sistema de este tipo debe constar como mínimo de los siguientes elementos:

— Procedimientos del sistema: En ellos se define la sistemática de las actividades de gestión de la seguridad, el seguimiento y la corrección de problemas. Establecen los mecanismos que permitan el funcionamiento del sistema, su control y su puesta al día continua. Incluyen, entre otros: auditorías, investigación de accidentes e incidentes, formación, planes de emergencia, control de documentación, archivo de registros, comunicaciones...

— Procedimientos de operación o instrucciones de trabajo: Describen la manera de llevar a cabo las operaciones o trabajos. Están destinados al operario directamente.

— Registros: Son los documentos que contienen los datos que demuestran que las actividades se han realizado según los procedimientos o instrucciones.

La responsabilidad directa de la seguridad no es de una persona o departamento. Es de cada empleado y de todos los niveles de supervisores y responsables. Además, normalmente existe un coordinador de seguridad, cuya función es principalmente dar soporte técnico y formación. Él recibe de la dirección la autoridad necesaria para hacer que el sistema sea efectivo, coordinando su funcionamiento y actuando como asesor. Si su autoridad o prestigio no es suficiente o no tiene una línea directa de comunicación con el máximo nivel ejecutivo de la compañía, es probable que el sistema no funcione.

En la figura 8.2 se muestra el esquema que propone para la implantación y funcionamiento de un sistema de gestión medioambiental la

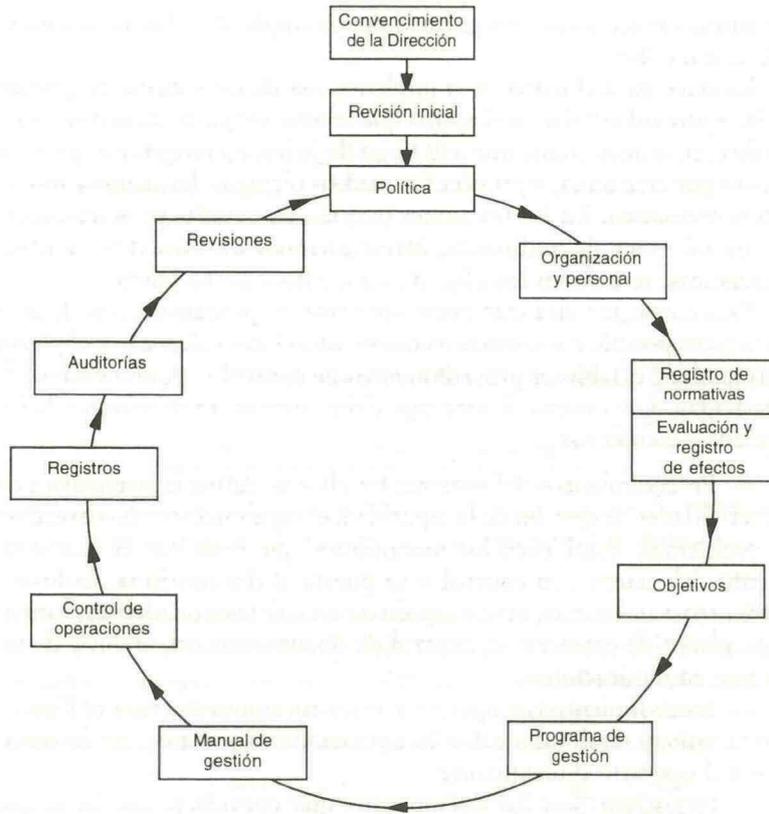


Figura 8.2. Diagrama de las etapas de la implantación de un sistema de gestión medioambiental, adaptado de la norma BS 7750: 1992. Es aplicable con ligeras modificaciones a los sistemas de gestión de la seguridad.

norma inglesa BS 7750 (17). Sus principios básicos son aplicables también a la gestión de la seguridad. Se parte del convencimiento de la dirección de que es necesario establecer un sistema de gestión. Tras la evaluación del estado actual, se define la política de la organización entrando ya en el círculo. Los primeros pasos son la asignación del personal y los recursos necesarios, y la recopilación de la normativa aplicable junto con todos los datos disponibles sobre la situación presente de la empresa.

Con esta información ya pueden determinarse los objetivos a conseguir. Para alcanzarlos se debe establecer un programa de gestión, reflejado en un manual de gestión y procedimientos de operación, que genere registros que demuestren el cumplimiento de las normas y permitan evaluar si se alcanzan los objetivos. La comprobación de que se están siguiendo los procedimientos establecidos se realiza por medio de auditorías internas, cuyos resultados se revisan periódicamente. Cuando se consiguen los objetivos, se establecen otros nuevos y se cierra el círculo.

Control del sistema de gestión de la seguridad

El grado de cumplimiento de los procedimientos debe ser evaluado con una frecuencia previamente establecida, según la importancia de cada actividad. Mediante estas comprobaciones se pueden detectar los puntos débiles antes de que ocurran problemas. Tras ellas deben tomarse inmediatamente las acciones correctivas necesarias para subsanar las deficiencias detectadas.

Con estos controles también se consigue (3):

- Mantener la consciencia de la importancia de seguir los procedimientos establecidos.
- Identificar riesgos no considerados, o introducidos al realizar modificaciones del proceso o de la planta.
- Comprobar el cumplimiento de leyes o normativas externas a las que la planta está sujeta.
- Mejorar el sistema, revisando la adecuación de los procedimientos de operación y proponiendo alternativas.

Siempre que sea posible es deseable utilizar un sistema que permita plasmar el resultado de la auditoría en un número (29): «¡Lo que se mide, se hace!». Si se puede seguir la calidad del sistema con un índice numérico, es mucho más fácil evaluar el esfuerzo de mejora y su eficacia. No es fácil, sobre todo en las revisiones más amplias, ya que los diferentes elementos que se evalúan tienen distinta importancia relativa, y, por tanto, es necesario introducir factores de ponderación. Además, la evaluación numérica del grado de cumplimiento requiere que los criterios hayan sido muy claramente definidos a los auditores, para que las diferencias subjetivas sean mínimas.

Según la amplitud, complejidad y trascendencia de las actividades afectadas, se pueden realizar diferentes tipos de evaluación (1), (20).

Auditorías de seguridad

Consisten en una revisión y evaluación en detalle del cumplimiento de las normas establecidas para una determinada actividad. Todas las actividades y procedimientos del sistema: procedimientos de operación, formación y entrenamiento, planes de emergencia... han de ser cubiertas con una periodicidad adecuada. Según el tipo de auditoría, la frecuencia puede variar considerablemente. Las que se reducen a la comprobación del seguimiento de los procedimientos del sistema suelen tener lugar unas dos veces al año, mientras que las que afectan al contenido de los procedimientos (tecnología de proceso, filosofía de diseño, etc.) suelen realizarse cada dos o tres años.

El equipo auditor está compuesto por personal entrenado, independiente del área que está siendo auditada. El número puede variar dependiendo de la extensión de la auditoría a realizar. Normalmente, por motivos de coordinación no es práctico que intervengan más de tres personas salvo en grandes auditorías que afecten a una planta completa y requieran dos o tres semanas. Debe conjugarse la presencia de expertos en seguridad con personas no especialistas, pero con experiencia en procesos similares y capacidad de juicio. La presencia de personas ajenas a la planta favorece el intercambio de ideas y experiencias.

Es conveniente confeccionar un plan anual de auditorías, de manera que se conozcan con la antelación suficiente la fecha y los procedimientos a auditar. Así se facilita que las personas a entrevistar estén disponibles. Además, el conocer la fecha con antelación favorece que el personal involucrado revise previamente todos los procedimientos a auditar, detectando y corrigiendo algunos problemas. No debe olvidarse que estas auditorías son un ejercicio interno de espíritu positivo. Su objetivo no es encontrar incumplimientos, sino mejorar el sistema.

El trabajo previo del equipo auditor es clave para el éxito de la auditoría. Es necesario solicitar con antelación los principales procedimientos, normas y documentos que se utilizan en el área auditada. Cada auditor debe solicitar la información que necesite, dependiendo de su conocimiento de la planta y del proceso. Todos los documentos relevantes deben estar a su disposición, sin excepción. Con base en esta

información se desarrolla el programa de la auditoría y las listas de comprobación que servirán de apoyo. Una lista de comprobación es una herramienta útil, pero no puede sustituir en modo alguno la capacidad de investigación y de seguimiento de un problema que posee un auditor experimentado. Normalmente es mejor elegir unos pocos temas y seguirlos en profundidad que intentar tocar todo. Una auditoría es un ejercicio limitado en el tiempo, y adaptarse a esta circunstancia es la mejor cualidad de un buen auditor.

Hasta aquí la fase de preparación. La auditoría propiamente dicha comienza con una reunión con el responsable de las actividades a auditar, en la que se revisa el objeto de la auditoría y se establece el programa de la misma con el máximo detalle posible. Tras esta reunión, los auditores revisan *in situ* el cumplimiento de los procedimientos, comprobando los registros y entrevistando a todo el personal que sea necesario. Una persona del departamento visitado les acompaña siempre para aclarar dudas o para dar las explicaciones que sean necesarias. Toda la información acerca de personas se trata de forma confidencial, haciendo énfasis en la corrección de los efectos del sistema y no en la búsqueda de culpables.

La información obtenida se comenta con el acompañante y se anota para su discusión por los auditores. Al final de la auditoría se presentan las conclusiones preliminares a la sección auditada en la reunión de clausura, a la espera del informe final, que se redacta posteriormente. Si existen dudas o puntos oscuros, pueden aclararse en esta reunión. Igualmente pueden sugerirse acciones correctivas para los problemas encontrados.

Al informe final se contesta por el auditado con el plan de acciones correctivas, con sus personas responsables y plazos de ejecución. La efectividad de las acciones correctivas y la resolución de los problemas pueden verificarse en la siguiente auditoría o en una revisión de seguridad limitada tan sólo a las áreas problemáticas.

En la figura 8.3 se muestran los resultados de una auditoría interna de seguridad, evaluados en una escala numérica.

Revisiones de seguridad

Se limitan a áreas más reducidas que una auditoría, normalmente a un solo procedimiento. Permiten una revisión más concreta y con mayor detalle, no alcanzable en las auditorías, que resultarían demasiado extensas. Algunas que suelen realizarse son:



Figura 8.3. Resultados numéricos de 5 auditorías internas de seguridad para 11 conceptos, con los valores medios de las 5 auditorías y el rango de variación en cada apartado. (Adaptado de la referencia 29.)

- Sistema de permisos de trabajo.
- Control de modificaciones de proceso y de planta.
- Procedimientos de toma de muestras.
- Procedimientos para operaciones concretas: carga, descarga, puesta en marcha de una instalación, etc.

Inspecciones de seguridad

Se diferencian de las anteriores en que las lleva a cabo el personal de la propia planta con una frecuencia preestablecida. Deben someterse a inspección periódica elementos como:

- Sistemas de alivio de emergencia.
- Instrumentación crítica.
- Alarmas y sistemas automáticos de parada de emergencia (*trips*).
- Sistemas de bloqueo y drenaje.
- Alarmas y sistemas contraincendios.
- Detectores de gases.

Investigación de accidentes e incidentes

Otra manera de corregir problemas y prevenirlos en el futuro es aprender de los propios errores del pasado. Este principio es la base de la investigación de incidentes. Los accidentes no ocurren espontáneamente, sino que son causados por una situación o por una acción, a veces muy distinta de la causa inmediata aparente. Bajo el error humano o el fallo técnico suele haber un problema de formación, organización, mantenimiento... o, en general, un sistema defectuoso. En todos los accidentes se produce algún fallo humano, ya sea a nivel de operación o de gestión. Kletz (5) escribe que «decir que los accidentes se han debido a un error humano es como decir que las caídas las causa la gravedad». Sin embargo, normalmente es más fácil atribuir el accidente a un fallo humano por diferentes razones:

- A veces se busca más un responsable que la causa del accidente. A la persona que realiza la investigación, normalmente un supervisor o jefe, le resulta más fácil buscar un culpable por debajo de él.
- Pedir al personal que sea más cuidadoso es una solución sencilla y barata.

El límite que separa los conceptos de accidente e incidente no está claramente definido. En lenguaje común, incidente implica cualquier acontecimiento con o sin daño a las personas, a la comunidad o a la propiedad, en el que las consecuencias podrían haber sido más graves de mediar otras circunstancias. Es el caso de fugas, pequeños fuegos, errores en la manipulación de válvulas o equipos, sobrepresiones por fallo de válvulas de seguridad... La línea divisoria entre qué incidentes deben ser sometidos a investigación y cuáles no la requieren debe fijarla cada organización.

Los incidentes dan una información inestimable antes de que un accidente grave ocurra. Raro es el caso en que un accidente grave no ha ido precedido por uno o varios incidentes leves a modo de «aviso».

Tras el incidente conviene iniciar la investigación lo antes posible, mientras los hechos estén recientes, para evitar la pérdida de información potencialmente valiosa. La confianza de las personas involucradas en el investigador es importante, pues a menudo son reticentes a dar información que puede ser negativa para su prestigio. El investigador necesita tacto y discreción a la vez que minuciosidad y buen criterio para discernir entre las contradicciones que suelen aparecer al confrontar las versiones de los involucrados.

Las conclusiones no deberían dejar lugar a la especulación. Si hay puntos oscuros, o varias alternativas posibles, puede estimarse cuál es la más probable mediante los métodos presentados en capítulos anteriores. En general, la teoría que requiere menos suposiciones suele ser la que más probabilidades tiene de ser correcta.

Una vez terminado su trabajo, el investigador confecciona un informe de incidente. Como mínimo debería contener las siguientes secciones:

- Circunstancias y consecuencias (resumen de los hechos).
- Información recogida en la investigación.
- Conclusiones.
- Plan de acción: acciones correctivas y preventivas necesarias.

Este informe debe distribuirse a todo el personal interesado, incluyendo otras plantas similares de la misma compañía. La información sobre las causas y la implantación inmediata de las medidas preventivas y acciones correctivas permiten incorporar los conocimientos extraídos del error a la memoria de la organización (6), (15). Si la información proveniente de la investigación no se invierte en mejorar el sistema, ésta habrá sido inútil.

Procedimientos de operación

La mayor parte de los accidentes se debe a acciones incorrectas o imprudentes. Los procedimientos de operación sirven para recoger la experiencia acumulada sobre el manejo óptimo de la planta, tanto en cuanto a seguridad como en cuanto a rendimiento o calidad. Es necesario [e incluso obligatorio en los EE. UU., según la ley de gestión de seguridad de proceso de la OSHA (11)] tener procedimientos de operación escritos, aplicados y mantenidos al día. No es fácil conseguir un buen manual de

operación, y su desarrollo y mantenimiento requiere tiempo y personal bien formado y con un conocimiento directo del proceso.

Algunas de las ventajas que conlleva la redacción de un manual de operación son:

- La reflexión sistemática sobre la mejor manera de llevar a cabo las distintas operaciones.
- La eliminación de diferencias en el modo de trabajo entre los distintos turnos.
- Su valor inestimable como herramienta para la formación de nuevos operadores.

Lo normal es que el manual de operación se escriba durante el diseño de la planta por miembros del equipo del proyecto. Además del ingeniero de proceso y un ingeniero de producción, la participación de operadores experimentados durante su elaboración favorece el sentido práctico y reduce las modificaciones durante la revisión y prueba del manual.

Redacción y organización

Un buen procedimiento de operación debe estar escrito para la persona que lo va a utilizar en su trabajo. El público al que va dirigido, su nivel cultural, el ambiente en que lo van a consultar, el tiempo del que van a disponer, etc., son factores a tener presentes en todo momento (13).

Los procedimientos son, o deben ser, herramientas de consulta en el día a día. Si no se utiliza un lenguaje adecuado, o no contienen la información necesaria, pueden caer en desuso. Tanto la falta como el exceso de información son igualmente negativos. La forma es tan importante como el fondo a la hora de hacerlos manejables en las situaciones de prisa o tensión en que puede ser necesario consultarlos:

- El uso de frases directas, de no más de 15 palabras (excepcionalmente 20) ayuda a la claridad. El vocabulario ha de ser adecuado al destinatario.
- Siempre que sea posible, el expresar la información en forma gráfica, mediante fotos, esquemas o diagramas de flujo facilita y acelera la comprensión.

El campo que se puede abarcar simultáneamente sin perder la visión de conjunto son dos páginas opuestas. Se pueden utilizar las páginas de un lado para gráficos y el opuesto para texto, por ejemplo.

— Para facilitar el manejo, conviene que el manual de procedimientos esté bien estructurado y con un índice claro. Es necesario que la información sea accesible con rapidez. Una división adecuada en secciones puede ser la mostrada en la figura 8.4.

En cuanto a su contenido, la normativa de la OSHA (11), (14) fija como requisitos mínimos los siguientes apartados:

- Descripción del proceso.
- Descripción de los equipos.
- Procedimientos de puesta en marcha, parada y espera.
- Procedimientos de operación normal.
- Límites de operación normales.
- Registro de datos.
- Descripción de riesgos.
- Procedimientos de operación fuera de condiciones normales.
- Descripción de las alarmas y sistemas de alivio de presión.
- Procedimientos de emergencia.
- Procedimientos para trabajos peligrosos.
- Equipo de seguridad personal.
- Procedimientos de comunicación.
- Programa de mantenimiento.
- Esquemas de equipos y procesos.
- Lazos de control.

La extensión y el grado de detalle necesario en cada sección depende del tipo de planta y los riesgos en caso de apartarse de los procedimientos establecidos. En algunos casos bastará con dar el valor objetivo de un parámetro y una breve indicación de como lograrlo, mientras que en otros será necesario indicar en detalle la secuencia de apertura y cierre de válvulas y hasta, por ejemplo, las rampas de temperatura a seguir. Los estudios de HAZOP ayudan a determinar la cantidad de información precisa.

Los procedimientos escritos y el entrenamiento son complementarios. La formación crea la capacidad de juicio y decisión cuando las situaciones no se ajustan a lo que se describe en el procedimiento. Éste, por su parte, intenta asegurar que no pueda provocarse un accidente

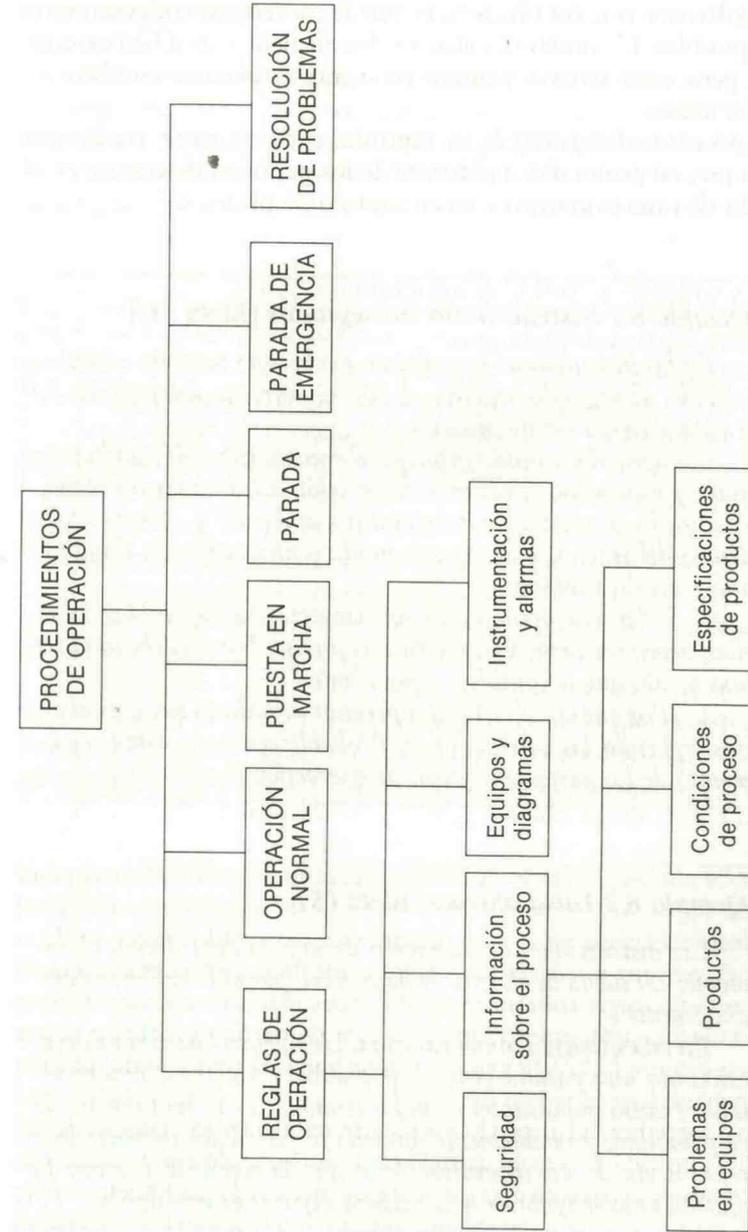


Figura 8.4. Estructura de un Manual de Procedimientos de Operación [Sutton (6)].

por una decisión equivocada, pero no puede contemplar todas las situaciones posibles. El equilibrio entre los dos elementos es difícil de establecer, pero debe tenerse siempre en mente cuando se escriben los procedimientos.

El contenido de algunos de los capítulos anteriormente citados será tratado más en profundidad al hablar de los permisos de trabajo en el apartado de mantenimiento y en el capítulo de planes de emergencia.

Ejemplo 8.1-Instrucciones no seguidas [Kletz (5)]:

En las instrucciones para llevar a cabo una reacción se decía: «Añadir el segundo reactivo a 60° C durante un período de sesenta a ciento veinte minutos.»

Los operarios consideraron que el equipo disponible no lo permitía y estuvieron realizando la reacción durante varios meses, añadiendo el reactivo a temperatura ambiente y calentándolo dentro del reactor, hasta que se produjo una explosión debida a una reacción runaway.

1. Si las instrucciones no son correctas, o hay dudas sobre ellas, deben revisarse, y corregirse si es preciso. Nunca debe tomarse una acción que se considera equivalente.

2. ¿Por qué no advirtió el supervisor inmediato que se estaban incumpliendo las instrucciones? Probablemente no había seguimiento de los partes y registros de operación.

Ejemplo 8.2-Falsa alarma [Kletz (5)]:

Las instrucciones de operación de una caldera decían claramente: «Si suena la alarma de bajo nivel, parad la caldera inmediatamente.»

En esta situación sonó la alarma. Un operario paró la caldera, causando una parada general de planta. La alarma resultó ser falsa y causó importantes pérdidas económicas. El sentimiento de culpabilidad, probablemente fomentado por algún comentario o reprimenda de un supervisor, hizo que la siguiente vez que la alarma sonó se ignorase y la caldera sufriera graves daños.

Mantenimiento al día

Los procesos de fabricación, al igual que las instalaciones, sufren continuos cambios. Los procedimientos de operación deben cambiar con ellos. Una importante herramienta para la mejora continua de los procedimientos son los *análisis de trabajo seguro* (JSA, «Job Safety Analysis»). Éstos deben llevarse a cabo periódicamente para las operaciones más peligrosas y consisten en un seguimiento pormenorizado, paso a paso, del método de trabajo seguido, analizando los riesgos implicados y las medidas que se deben tomar para minimizarlos. En este análisis deben participar directamente los operarios que realizan la operación, lo que además les sirve de entrenamiento y mentalización. Las conclusiones se incorporan al manual de operación.

Para mantener un registro de los resultados de los análisis de trabajo seguro realizados se puede utilizar el formato de la figura 8.5.

Para asegurar que el destinatario conoce los cambios introducidos, suelen marcarse las partes del documento que han variado en un formato especial (negrita, subrayado...). Se puede distribuir el documento con una hoja en la que se firme el acuse de recibo por los operarios de cada turno, como constancia de que se dan por enterados del cambio.

Es necesario un sistema de control de la documentación para asegurarse de que las últimas versiones están disponibles y que los ejemplares obsoletos se retiran y destruyen para evitar errores. Para ello, los documentos deben ir debidamente aprobados por el responsable de su emisión y tener un índice de revisión o versión. En modo alguno deben hacerse modificaciones sobre los ejemplares directamente, de forma no autorizada. En las auditorías de seguridad debe revisarse también el control de la documentación.

Hay que prestar una especial atención a las órdenes temporales. Con frecuencia se modifican valores de variables o normas de modo provisional, bien sea para adaptarse a una materia prima diferente, por avería o mantenimiento de algún equipo, o por otras causas. Si estas normas presentan ambigüedades en su contenido, o no se especifica claramente la duración de la modificación de los procedimientos normales, pueden ser causa de accidentes. Normalmente no es práctico modificar el manual de operación en estos casos y se utilizan «libros de planta» donde se reflejan las instrucciones temporales. El jefe de turno debe firmarlas dándose por enterado tras leerlas. Si la circunstancia que

ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO		Trabajo		Fecha
Departamento	Equipo de protección personal necesario	Operario que lo realiza	Supervisor	Realizado por
		Sección		Revisado por
SECUENCIA DEL TRABAJO	RIESGOS Y POSIBLES ACCIDENTES	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO A SEGUIR		Aprobado por

Figura 8.5. Formato para un análisis de trabajo seguro (JSA). En el cuadro de la izquierda se describen todas las etapas necesarias para realizar el trabajo. En el central se identifican los riesgos o posibles accidentes. En el de la derecha se describen las precauciones a tomar para minimizar los riesgos.

obliga a las modificaciones se repitiera con frecuencia, habría que incluir el modo de trabajo alternativo en el manual de operación.

Ejemplo 8.3-Instrucciones poco claras [Kletz (5)]:

Las instrucciones escritas por el jefe de planta en el libro de turnos decían: «Para limpiar el reactor agitar con 150 litros de ácido nítrico durante dos horas, calentando a 75° C.»

Normalmente se limpiaba el reactor llenándolo primero de agua y añadiendo luego una menor cantidad de ácido.

El turno de noche no llenó el reactor de agua, sino que añadió directamente el ácido por la línea de alimentación de isopropanol, en la que quedaban restos de éste, que no habían sido arrastrados, como ocurría habitualmente, con el agua de llenado. El ácido nítrico reaccionó violentamente con el isopropanol, abriéndose el disco de ruptura y emitiendo gases nitrosos.

Si la intención del jefe de planta era sólo cambiar la cantidad de ácido y la temperatura, tenía que haberlo especificado más claramente. Tampoco dejaba claro si era un cambio permanente a las normas de trabajo, o sólo por una vez o a modo de prueba:

«Realizar esta noche el lavado del reactor según el procedimiento normal, pero aumentar la cantidad de ácido nítrico a 150 l y la temperatura a 75° C.»

Si su intención era sólo enfatizar las cantidades a utilizar, porque no se estaban siguiendo los procedimientos por ese turno, debía haber dicho:

«En el lavado del reactor seguir escrupulosamente el procedimiento escrito XX-23-C.»

Ejemplo 8.4-Instrucciones no mantenidas al día:

Debido a un accidente se decidió cambiar el procedimiento de regeneración de un reactor catalítico. Las nuevas normas se colocaron en el panel de instrumentos y se insistió sobre ello en el libro

Ejemplo 8.4 (continuación):

de turnos. Al cabo de un tiempo un operario que volvía de un destino en otra planta a su antiguo puesto vio que la nota había desaparecido, y supuso que se había modificado de nuevo el procedimiento. Revisó el manual de operación, que no había sido cambiado, y realizó la operación de la forma incorrecta, produciéndose otro accidente.

Si el manual de operación no se mantiene al día y se emplean vías alternativas para la comunicación de las normas de trabajo, muy pronto el sistema degenerará y el manual de operación será inservible. Los libros de turnos y los carteles son útiles durante los primeros días, para llamar la atención sobre los cambios, pero el libro maestro debe ser el manual de operación.

Reducción del riesgo en el mantenimiento

Todos los equipos instalados en una planta química sufren un deterioro con el tiempo debido a las condiciones de trabajo a las que están sometidos, que pueden dar lugar a corrosión, desgaste de las partes rotativas, fatiga de los materiales, daños y deformaciones en las partes internas o ensuciamiento. Antes de que el deterioro llegue a comprometer la seguridad de la planta, es necesario repararlo o reemplazarlo, como ya se ha discutido en el capítulo 6.

En muchos casos las necesidades de mantenimiento se contraponen a las necesidades de producción y venta. Es necesario que la dirección, dentro de su política de seguridad, dé al mantenimiento la importancia que tiene, y delegue la responsabilidad y autoridad necesarias para actuar en estos casos en que se compromete la seguridad, por encima de la presión de las ventas.

La seguridad en relación con el mantenimiento se puede agrupar en tres capítulos:

— *Cómo y en qué condiciones se realiza el trabajo: Sistema de permisos de trabajo.* Es necesario asegurar que se toman las precauciones necesarias para minimizar los riesgos presentes en cada trabajo concreto, como fuegos, quemaduras por calor o químicas, electrocución, asfixia, caídas...

El sistema debe garantizar que el trabajo se ha realizado correctamente y que el equipo queda en condiciones de entrar en funcionamiento.

— *La extensión del mantenimiento que se realiza: Programa de mantenimiento.* En este apartado, la falta de mantenimiento o el mantenimiento insuficiente permiten que se llegue a situaciones potencialmente peligrosas.

— *El control de las modificaciones introducidas en la planta.* Las modificaciones incontroladas pueden alterar las condiciones de seguridad de la planta si no se someten a revisiones previas cuidadosas y detalladas.

Los gastos de mantenimiento en una planta química son elevados, y la ejecución de los trabajos puede llevar asociado un riesgo elevado. La pregunta es inmediata: ¿No sería posible reducir la necesidad de mantenimiento? La respuesta es sí. La industria nuclear ha conseguido reducir las necesidades de mantenimiento. Las grandes dificultades para realizarlo y el enorme riesgo que supone un fallo obligan a llevarlo al mínimo posible. Técnicamente la solución pasa por unos estándares extremadamente exigentes para los equipos a utilizar.

¿Por qué no se han extendido estos estándares a la industria química? Probablemente la causa principal es que aumentaría en gran medida el coste de las plantas. Normalmente, cuando se diseña una nueva planta, el principal objetivo suele ser minimizar el capital a invertir. Sin embargo, no siempre la planta más barata es la opción más económica a largo plazo. Durante el diseño es preciso tener en cuenta la «mantenibilidad» de la planta. La mejora de la fiabilidad de los equipos aumenta el coste inicial de la planta, pero disminuye el gasto en mantenimiento, que constituye una parte importante de los gastos fijos, con un valor típico en torno a un 6 por 100 de las ventas para las industrias químicas.

Permisos de trabajo

Para controlar los riesgos durante la ejecución de los trabajos de mantenimiento es esencial disponer de un procedimiento que regule la concesión de permisos de trabajo. El objeto de este procedimiento es controlar el trabajo que se va a llevar a cabo, definiendo:

- Las actividades a realizar.
- Las responsabilidades.

- Las medidas de protección y precauciones necesarias para evitar accidentes durante la realización del trabajo.
- Las pruebas e inspecciones para comprobar que el trabajo ha sido bien realizado.

Normalmente existen varios tipos de permisos, según la naturaleza y el riesgo del trabajo que se va a realizar. Los más comunes son:

- Permiso de trabajo normal. Para trabajos de rutina, no sujetos a permisos especiales.
- Permiso de trabajo con riesgo de incendio o explosión.
- Permiso de entrada en recipientes.

También suelen existir requisitos especiales para trabajos en alturas, alto voltaje, excavaciones, grúas móviles, productos tóxicos o apertura de tuberías.

De la misma manera que todas las demás actividades del sistema de gestión de la seguridad, el procedimiento de permisos de trabajo debe estar sometido a auditorías y comprobaciones frecuentes, para asegurar que se respetan las normas establecidas.

Muy a menudo el mantenimiento se subcontrata a empresas especializadas. Es vital que estén sometidas a los mismos procedimientos de seguridad que los trabajadores propios, y que reciban la formación necesaria para asegurar que su actitud y capacidad es la misma que la de los trabajadores de la planta.

Actividades a realizar

El permiso debe definir claramente, sin posibilidad de error, los trabajos que se van a realizar. En caso de que durante el trabajo hubiera imprevistos que obligaran a realizar nuevos trabajos no incluidos en el permiso de trabajo original, debe solicitarse un nuevo permiso.

Un caso típico es una revisión de los rodamientos de una bomba, que no requiere la apertura de la misma. Si se encuentran anomalías y se decide abrir la bomba, puede ocurrir que esté llena de líquido inflamable, tóxico o corrosivo, por lo que es necesario pedir un nuevo permiso. Un accidente como éste provocó un fuego en el que murieron tres personas (5).

Si existen circunstancias que impiden que el trabajo original pueda realizarse, no debe cambiarse por otro que el trabajador considere equivalente sin un nuevo permiso de trabajo.

Ejemplo 8.5 [Kletz (5)]:

Para aislar un equipo se decidió colocar una placa entre dos bridas. El mecánico encontró dificultades para poder separarlas e introducir la placa, por lo que decidió colocarla en otro par de bridas que había un poco más allá en la misma línea. Estas bridas se encontraban al otro lado de la válvula que bloqueaba la línea, por lo que al aflojarlas recibió un chorro de líquido corrosivo en la cara.

El mecánico no realizó el trabajo que tenía encomendado, sino uno distinto, para el que la instalación no era segura.

Responsabilidades

Normalmente quien emite el permiso de trabajo es el responsable de producción de la planta o plantas afectadas, y quien lo recibe es el responsable de mantenimiento. De este modo, producción se tiene que asegurar de que las condiciones en la planta son las necesarias para la realización del trabajo. Por su parte, mantenimiento es responsable de que el trabajo se lleve a cabo de la forma establecida.

Parece de Perogrullo decir que el trabajador tiene que leer el permiso de trabajo. Sin embargo, es fácil que sólo lean la descripción del trabajo a realizar. La mayor parte de los trabajos son de rutina, y el contenido del permiso es muy similar. Sin embargo, cuando hay condiciones distintas de lo normal, la confianza y la ignorancia de los riesgos a los que se está expuesto puede causar accidentes. Normalmente se pide al trabajador que firme el permiso de trabajo como prueba de que lo ha leído, pero la solución pasa, sobre todo, por que los trabajadores conozcan la razón de la existencia de los permisos de trabajo y los riesgos a que están expuestos, con ejemplos de accidentes que han ocurrido. Es conveniente que el emisor del permiso de trabajo acompañe a quien lo va a realizar hasta el equipo y le explique los principales riesgos.

Ejemplo 8.6 [Kletz (5)]:

Un mecánico recibió un permiso de trabajo para cambiar una válvula en una línea de producto corrosivo. Cuando aflojó la

Ejemplo 8.6 (continuación):

brida, le salpicó un chorro de producto, produciéndole graves quemaduras, ya que no llevaba ni guantes ni mascarilla de protección.

El problema puede parecer un claro caso de negligencia del mecánico, pues se daba la circunstancia de que en todos los permisos estaba impreso por defecto «USAR GUANTES Y MASCARILLA DE PROTECCIÓN». En la mayoría de los casos no era necesario llevarlos, por lo que los trabajadores sistemáticamente ignoraban esta orden. En este caso no era culpable el trabajador, sino el formato inadecuado del permiso.

Contenido del permiso

En las figuras 8.6, 8.7 y 8.8 se muestran tres impresos que se utilizan en la empresa Dow Ibérica (Tarragona) para trabajos normales, trabajos con riesgo de incendio o explosión (RIE) y entrada en recipientes.

El contenido de un permiso de trabajo debe incluir como mínimo los siguientes puntos:

- Identificación de la planta y el equipo sobre el que se va a trabajar.
- Descripción del trabajo que va a realizarse.
- Una lista de comprobación, para asegurar que todos los posibles riesgos se han considerado.
- Medidas de protección derivadas de los riesgos.
- Equipo de protección personal necesario.
- Período de validez.
- Espacio para las firmas y observaciones.

Los trabajos calientes (*hot work*), entendiendo como tales aquellos que pueden producir una fuente de ignición, como es el caso de soldaduras, uso de sopletes, cortadores, martillos neumáticos, equipo no antideflagrante, etc., tiene un elevado riesgo cuando se llevan a cabo dentro de recipientes cerrados o en zonas clasificadas 1 ó 2. En estos casos hay que extremar las precauciones para asegurar que no existe ninguna mezcla dentro de su intervalo de inflamabilidad.

Se debe prestar especial atención al correcto aislamiento de los equipos sobre los que se va a trabajar. Los sistemas eléctricos, las

Figura 8.6. Permiso de trabajo. (Cortesía de Dow Ibérica, Tarragona.)

(C.P.S.) CERTIFICADO DE PLANIFICACION DE SEGURIDAD

TARRAGONA-SUR (SE REQUIERE UN PERMISO DE TRABAJO PARA EMPEZAR A TRABAJAR) N° 07551

Fecha: _____ S.T. nº. _____

1. TRABAJO RELACIONADO CON:	Proyectos	Entrada en Recipientes	Apertura Líneas Críticas	Excavaciones	Trabajos en Tejados	Alta Tensión	Otros Trabajos Críticos
	Modificación en Planta	RIE en zonas críticas	Asbestos	Grúas izados críticos	Trabajos a más de 1.5 m altura	Manipulación Fuentes Radiactivas	Llama Abierta

2. PLANIFICACION REALIZADA POR:
 Área Equipo/Tanque/Línea: _____
 Localización: _____
 DESCRIPCION DEL TRABAJO: _____

HERRAMIENTAS A UTILIZAR:	Equipo de soldadura o Corte	Gas Arco	Grúa Excavadora	Bomba Portátil Lámparas P. 110 V. 24 V.	Compresor Herramientas Eléctricas	Vehículo Otros
--------------------------	-----------------------------	----------	-----------------	---	-----------------------------------	----------------

3. USO DE GRUAS: He inspeccionado este trabajo y puede realizarse con seguridad con las siguientes precauciones: N/A

Firmado: _____ Supervisor Autorizado de Grúas. Fecha: _____

4. EXCAVACIONES: He inspeccionado este trabajo y puede realizarse con seguridad con las siguientes precauciones: N/A

Firmado: _____ Supervisor Autorizado de Construcción. Fecha: _____
 Firmado: _____ Supervisor Electricista Autorizado. Fecha: _____

5. TRABAJOS SOBRE TEJADOS / TRABAJOS A ALTURAS SUPERIORES A 3 METROS / ASBESTOS: He inspeccionado este trabajo y puede realizarse con seguridad con las siguientes precauciones: N/A

Firmado: _____ Supervisor Autorizado de Construcción. Fecha: _____

6. ALTA TENSION: He inspeccionado este trabajo y puede realizarse con seguridad con las siguientes precauciones: N/A

El sistema será desconectado por: _____
 Firmado: _____ Supervisor Electricista Alta Tensión Autorizado. Fecha: _____

7. FUENTES RADIATIVAS: He inspeccionado este trabajo y puede realizarse con seguridad con las siguientes precauciones: N/A

Firmado: _____ Supervisor Radiactividad. Fecha: _____

8. R.I.E. EN ZONAS D1 o D2. LLAMA ABIERTA. ENTRADA EN RECIPIENTES Y OTROS:
 El Área/Equipo/Tanque/Línea arriba descrito estará en condiciones de seguridad para trabajar en él si se siguen las precauciones anteriormente mencionadas junto a las indicadas en la lista de la página adjunta.
 Precauciones adicionales: (si no hay, escribir ninguna) _____
 El Permiso de Trabajo debe obtenerse de: _____ antes de empezar el trabajo.
 El Permiso de Trabajo debe ser aceptado por un Supervisor: Sí N/A
 Este Certificado de Planificación de Seguridad es válido desde las _____ horas del _____ a las _____ horas del _____
 La sección 6 (C) del Permiso de Trabajo debe ser firmada por: _____
 Firmado: _____ Supervisor Autorizado para firmar CPS's. Fecha: _____

9. MODIFICACIONES DE PLANTA:
 Confirмо que el trabajo descrito se puede llevar a cabo con seguridad siguiendo las precauciones indicadas: N/A

Firmado: _____ Firma Autorizada. Fecha: _____

10. RENOVACION:
 Renovado desde las _____ horas del _____ hasta las _____ horas del _____ Firma CPS's: _____
 Renovado desde las _____ horas del _____ hasta las _____ horas del _____ Firma CPS's: _____
 Renovado desde las _____ horas del _____ hasta las _____ horas del _____ Firma CPS's: _____

NOTA: (a) Para la Sección 9 se requiere una firma distinta de la del punto 8. (b) Este Certificado sólo es válido si está debidamente firmado.

Figura 8.7. Certificado de Planificación de Seguridad. (Cortesía de Dow Ibérica, Tarragona.)

PERMISO DE ENTRADA EN RECIPIENTES

TARRAGONA Avisos para Ambulancia: Teléfono 216
 Avisos de Emergencia: Teléfono 222

Planta o Dt.º _____ Dt.º o Compañía ejecutante _____
 Equipo _____ N.º de Personas _____
 Descripción del trabajo _____

Nombre del Vigilante asignado _____
 Permisos adicionales necesarios _____

Fecha _____ Tiempo de validez De _____ a _____

LISTA DE COMPROBACION	SI	NO	NO NECESARIO
1. ¿Están todas las líneas a, y desde el equipo con bridas ciegas o desconectadas con el final abierto a la atmósfera? (De acuerdo con lista de líneas)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ¿Están los equipos eléctricos desenergizados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ¿Se han colocado las Tarjetas Roja y candados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ¿Qué materiales son habituales en el recipiente? Identificar _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ¿Se ha limpiado el equipo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Comprobación presencia de gases.— Máxim. 15 minutos antes de entrar: — Mezcla explosiva _____ % L.E.L. Efect. por _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
— Contenido oxígeno _____ % Efectuado por _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
— Tóxicos _____ % T.L.V. Efectuado por _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
— Repetir la comprobación cada _____			
7. ¿Se precisa análisis continuo de Mezcla expl./Oxígeno?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. ¿Se precisa equipo especial de protección?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. ¿Está ahora el equipo libre de materiales, inflamables, tóxicos y corrosivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. ¿Se precisa equipo de ventilación adicional?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. ¿Se ha revisado el procedimiento de rescate?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. ¿Se precisa equipo de respiración autónomo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Voltaje lámparas _____ V. C.A./C.C. — Voltaje herramientas _____ V. C.A./C.C.			
14. Medios de protección exigidos _____			
15. Si se utiliza ¿ha sido comprobado el sistema de doble válvula y purga en medio?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. ¿Si existiese se ha realizado las fuentes radiactivas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. ¿Se han dado instrucciones y son entendidas, al vigilante ext.?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Supervisor Autorizado,	Vigilante exterior,	Responsable Trabajo,	Personal que entra al recipiente,

EN CASO DE ALARMA: Pare las máquinas y siga el Plan de Emergencia.

Figura 8.8. Permiso de entrada en recipientes. (Cortesía de Dow Ibérica, Tarragona.)

válvulas, bridas ciegas, o cualquier otro elemento que deba estar en una determinada posición durante el trabajo debe bloquearse o etiquetarse (normalmente mediante una tarjeta roja), indicando claramente su estado. No se debe confiar en una válvula como elemento de aislamiento, pues podría fugar. Se recomienda el uso de dos válvulas de bloqueo con purga intermedia o, mejor aún, placas de bloqueo entre bridas.

La entrada en recipientes cerrados es una operación que ha dado lugar a numerosos accidentes. Los principales riesgos a que se está expuesto es la presencia de vapores o líquidos tóxicos o inflamables, residuos sólidos peligrosos, atmósfera deficiente en oxígeno, entrada de fluido de proceso o vapor, movimiento de equipos internos (agitadores, por ejemplo). Todos ellos deben considerarse y eliminarse tomando las precauciones necesarias de bloqueo, limpieza, purga, ventilación y uso de equipos de respiración autónoma.

Inspección final y cierre del permiso

Una vez terminado el trabajo, un supervisor autorizado debe comprobar que ha sido correctamente realizado, que se deja la planta en las mismas condiciones en que se encontró y firmar el permiso de trabajo, devolviéndolo a quien lo emitió.

Si al cabo del período de validez no se ha podido terminar el trabajo, es necesario que se emita un nuevo permiso de trabajo para poder continuar.

Ejemplo 8.7 [Lees (2)]:

Un mecánico terminó su turno sin acabar el trabajo que estaba haciendo y se marchó, con la intención de acabarlo al día siguiente. Sin embargo, un compañero del turno de noche lo terminó. Cuando al día siguiente el primer mecánico intentó terminarlo, la planta ya no estaba en condiciones de trabajo seguras y ocurrió un accidente.

Programa de mantenimiento

El mantenimiento puede clasificarse en dos categorías: previsto e imprevisto, según esté sujeto a una planificación de revisiones periódicas o sea requerido por un fallo del equipo. La clasificación en correctivo

y preventivo es complementaria, siendo el imprevisto siempre correctivo, dándose casos de ambos tipos dentro del preventivo.

Debe existir un programa de mantenimiento preventivo que permita evitar que los equipos críticos para la seguridad fallen de manera imprevista. Normalmente no es práctico someter a todos los equipos de la planta a mantenimiento preventivo, ni hacerlo para todos con la misma frecuencia. Suelen tenerse programas especiales para recipientes a presión, válvulas de seguridad e instrumentación crítica. Sobre un listado de equipos críticos se debe establecer para cada uno su importancia y la frecuencia y tipo de revisión, teniendo en cuenta el tipo de equipo, el riesgo que comportaría un fallo del mismo y el mínimo que fija la legislación vigente para algunos equipos [existe legislación española sobre válvulas de seguridad y recipientes a presión en el Reglamento de aparatos a presión (26)].

Para los equipos que no funcionan continuamente, sino sólo cuando se produce una demanda, hay que establecer revisiones periódicas lo suficientemente frecuentes como para obtener valores bajos del tipo muerto fraccional, como ya se ha expuesto en el capítulo 6.

Existen paquetes informáticos de gestión del mantenimiento que funcionan como bases de datos, almacenando la información y proporcionando listados de los equipos que deben ser revisados en un período de tiempo determinado, así como historiales de fallos de cada equipo.

Existen también trabajos que no pueden realizarse sin una parada de toda la planta. Normalmente se organizan paradas generales de mantenimiento con frecuencias muy variables de un tipo de planta a otra. Mientras que una planta de etileno por craqueo de naftas suele parar cada cuatro años durante varias semanas, en muchas plantas es común una parada general anual de varios días, o paradas más frecuentes de secciones autónomas.

Como ya hemos discutido anteriormente, el mantenimiento de la planta ya debe tenerse en mente en la etapa de diseño, involucrando siempre que sea posible a un representante de mantenimiento a tiempo parcial en el equipo de proyecto. Aspectos como la fiabilidad del equipo usado, materiales de construcción y accesibilidad para realizar revisiones y reparaciones deben ser tenidos en cuenta en todo momento. En la tabla 8.1 se proporciona una lista de comprobación de mantenibilidad para ser considerada durante el diseño y selección de equipos.

Dentro del programa de mantenimiento, deben incluirse inspecciones y pruebas de los equipos directamente relacionados con la lucha contra

Tabla 8.1. Lista de comprobación de mantenibilidad de equipos. No se puede considerar que éstos sean exclusivamente los puntos a comprobar, y deben considerarse en cada caso concreto todas las circunstancias que puedan influir en la mantenibilidad del equipo.

- ¿Es necesario el funcionamiento continuo del equipo? ¿Hace falta un equipo en reserva?
- ¿Va a estar sometido a la acción de compuestos corrosivos de manera continua u ocasional?
- ¿Hay espacio suficiente para el acceso del equipo (grúas, herramientas...) y personal necesario para el trabajo y el desplazamiento de las partes desmontadas (cabezales, rodetes, haces, tubulares...)?
- ¿Será necesario entrar en el equipo? ¿Para qué?
- ¿Hará falta realizar trabajos con riesgo de incendio o explosión dentro o sobre él?
- ¿Existen sistemas adecuados de bloqueo en todas las líneas de entrada y salida del recipiente, según el riesgo potencial que cada una presenta? (Salvo para aire o agua no se considera suficiente la fiabilidad de una única válvula.) ¿Afecta este bloqueo a otros equipos que deben mantenerse en funcionamiento?
- ¿Pueden quedar productos tóxicos o peligrosos dentro del recipiente? ¿Cuáles son sus riesgos potenciales? ¿Qué medios serán necesarios para eliminarlos?
- ¿Hacen falta líneas especiales para el venteo o vaciado del recipiente a lugar seguro?
- ¿Hará falta entrar con equipos de protección personal o sistemas de respiración? ¿Cuáles? ¿Son los accesos lo suficientemente amplios para ello?
- ¿Qué elementos internos existen? (Agitadores, serpentines, placas deflectoras, platos...) ¿Qué riesgos pueden causar?
- ¿Hará falta usar escaleras de mano u otros medios auxiliares para el acceso al interior? ¿Se ha previsto cómo se sustentarán? ¿Se han previsto medios para el rescate desde el exterior?
- ¿Es necesaria la ventilación del interior cuando se está trabajando? ¿Se han previsto medios adecuados?

incendios y el plan de emergencia: sirenas de emergencia, sistemas de lluvia o espuma, detectores de gases, etc.

Control de modificaciones

Una planta en origen segura puede dejar de serlo si se realizan modificaciones no controladas. El accidente de Flixborough es un caso típico (ver apéndice). Debe evitarse confundir lo que constituye modi-

ficaciones de la planta, y que requieren un control aún más estricto, con trabajos de mantenimiento. Es especialmente importante el control de las modificaciones temporales o urgentes, en las que la seguridad puede quedar en segundo plano, desplazada por la urgencia o por el «¡Lo quiero para ayer!»

Cuando la modificación exige una inversión de capital, con el consiguiente proyecto y revisiones, el riesgo es menor, ya que se aplican los controles normales sobre proyectos de capital. Los problemas suelen venir cuando las modificaciones no se reconocen como tales y los posibles problemas que pueden originar pasan inadvertidos hasta que ocurre un accidente. Es necesario que dentro del sistema de gestión de seguridad exista un procedimiento de aprobación de modificaciones.

La primera necesidad es establecer claramente qué constituye una modificación. Una definición adecuada puede ser: «Cualquier cambio permanente o temporal en los equipos o procesos (condiciones de operación, procedimientos o productos) que pueda afectar a la seguridad de la planta.»

Dentro del procedimiento debe establecerse la autoridad responsable del diseño de la modificación y la de su aprobación. La modificación debe someterse a los mismos controles de evaluación de riesgos que un proyecto, sometiéndola a un HAZOP por un equipo entrenado.

Henderson y Kletz (27) proponen nueve puntos que deben considerarse al realizar una modificación:

1. Que no se modifique el número o tamaño de válvulas de seguridad necesarias (o que esté incluido el rediseño en el estudio).
2. Que no se altere la clasificación eléctrica de áreas (o que se especifiquen los cambios necesarios en los equipos eléctricos).
3. Que no haya efectos en el sistema de control, alarmas o sistemas de parada de emergencia y *trips*.
4. Que no haya otros efectos que reduzcan el nivel de seguridad.
5. Que se sigan las normas de ingeniería establecidas.
6. Que se usen los materiales y grados de calidad adecuados.
7. Que no se someta al equipo existente a condiciones de trabajo fuera de sus intervalos de diseño sin comprobar que lo puede resistir.
8. Que se modifiquen las condiciones de trabajo según sea necesario.
9. Que se dé la formación e información necesaria a los equipos de producción y mantenimiento.

Deben realizarse inmediatamente los cambios oportunos en todos los documentos afectados por la modificación: procedimientos de operación, diagramas de instrumentación y líneas, distribución en planta, diagramas de proceso, diagramas de líneas eléctricas, etc.

Gestión de los recursos humanos

Se ha dedicado hasta ahora la mayor parte del libro a hablar sobre equipos, procesos e instalaciones. El factor humano juega un papel crítico en el funcionamiento de toda planta química. Los sofisticados sistemas de control que se utilizan en la actualidad no hacen más que trasladar su intervención a un estadio anterior en el diseño. Algunas decisiones que antes tenía que tomar un operario en pocos segundos ante el panel de instrumentos, ahora se toman delante de un teclado y un monitor, y se traducen a un lenguaje de programación.

Como en cualquier otro tipo de industria, en la industria química las personas son el recurso más valioso de la organización. Aunque cometan errores. La persecución del culpable del error debe dejar paso al aprovechamiento de éste como fuente de conocimiento de oportunidades de mejora. Esto en modo alguno significa permitir o fomentar los errores, sino aprovechar las enseñanzas obtenidas para evitar su repetición.

Para conseguirlo es necesaria una gestión eficaz de los recursos humanos a través, entre otras herramientas, de la motivación, de la formación y de la participación de los empleados. La creatividad de las personas sólo se aprovecha en su totalidad cuando se les da la oportunidad de intervenir en la mejora del sistema. Sin embargo, no basta con una llamada a la participación, sino que hay que poner en sus manos los medios y las herramientas que les permitan obtener frutos de manera efectiva. Los principios de la gestión de calidad total son igualmente aplicables a la gestión de la seguridad [no vamos a entrar aquí en muchos detalles, ya que el tema se ha tratado en profundidad en abundante bibliografía, entre otros por Deming (19) y Juran (23)].

La mayoría de los 14 puntos de Deming son aplicables a la gestión de la seguridad con la misma validez que a la gestión de la calidad:

1. *Crear constancia en el propósito de mejorar.*
2. *Adoptar la nueva filosofía, dada por estos puntos.*
3. *Dejar de depender exclusivamente de la inspección, desplazar el énfasis a las características intrínsecas del proceso.*

5. *Mejorar constante y continuamente todos los procesos.*
6. *Implantar la formación en el trabajo.*
7. *Adoptar e implantar el liderazgo en la dirección.*
8. *Desechar el miedo a la participación y al cambio.*
9. *Derribar las barreras entre los distintos departamentos, fomentar el trabajo en equipo.*
10. *Eliminar los slogans, exhortaciones y metas para los operarios sin acompañarlas de los medios adecuados.*
12. *Eliminar las barreras que privan a las personas de sentirse orgullosas de su trabajo.*
13. *Implantar un programa vigoroso de educación y automejora para todo el mundo.*
14. *Poner a trabajar a todas las personas de la empresa para conseguir la transformación.*

El error humano

Mark Twain decía: «El hombre es una criatura hecha al final de la semana... cuando Dios estaba cansado.» El hombre es el único elemento de una planta que no se puede rediseñar o modificar. Hay que jugar con lo que se tiene. La única excepción a esta afirmación es que se puede seleccionar a personas con una formación adecuada y entrenarlas para mejorar su respuesta y actitud, como veremos más adelante.

Conocer y tener en cuenta la probabilidad de un error humano es tan importante como tener información acerca de la fiabilidad de los equipos y de la instrumentación. Pueden aplicarse técnicas, ya descritas en el capítulo 2, como el análisis de árbol de fallos (FTA) o el análisis de modalidades de fallo y sus efectos (FMEA). En el capítulo 6 se ha hecho un estudio del error humano y los procedimientos para la obtención de estimaciones de su frecuencia.

Si en la frecuencia de fallo de equipos influye el sistema de gestión de seguridad de la empresa (5) (a través del mantenimiento preventivo, pruebas de sistemas de seguridad, etc.), es obvio que esta influencia ha de ser mucho mayor en el caso de errores humanos. Los principales factores que afectan a la probabilidad de cometer un error son:

- Tipo de actividad (rutina, especial).
- Tiempo disponible para realizarla.
- Formación y entrenamiento.

- Presión de la situación (normal, emergencia).
- Ambiente de trabajo.

La mayor parte de ellos son mejorables durante el diseño y operación de la planta actuando sobre facetas que se tratan en éste y otros capítulos, como el mantenimiento, los procedimientos de operación, el entrenamiento, el análisis de riesgos durante el diseño, etc.

Cuando se habla de que hasta un 90 por 100 de los accidentes son debidos al error humano, se está en lo cierto. La única salvedad es que mientras normalmente se hace recaer la responsabilidad de ese error sobre el operario que lo ha cometido materialmente, un análisis detallado de las causas hace ver que muchas veces el error humano ha sido originalmente del diseñador, del mando o del jefe de departamento, que no han sido capaces de prever el error y poner los medios para hacerlo más improbable.

Entrenamiento y formación

El entrenamiento y formación en seguridad debe abarcar no sólo a los operarios, sino que también debe extenderse a los mandos, técnicos y, en general, a todo el personal de la empresa, incluyendo a los contratistas que trabajan para ella. Además de la mera transmisión de conocimientos y aprendizaje de habilidades, un objetivo primordial es la mentalización de la organización sobre la importancia de la seguridad y la motivación a participar en su mejora.

Necesidades de entrenamiento y formación

Las necesidades de entrenamiento y formación no son las mismas para todos los empleados. Dependen para cada caso del trabajo que realiza y la responsabilidad que ostenta cada persona dentro de la organización. El procedimiento operativo de formación y entrenamiento debe estar orientado a la detección y cobertura de estas necesidades y la empresa debe proveer los medios humanos y materiales necesarios. En nuestro país, la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo específicamente señala como obligación del empresario el «promover la más completa formación en materia de Seguridad e Higiene del Trabajo del personal directivo, técnicos, mandos intermedios y trabajadores» (Artículo 7.8).

Normalmente los requisitos de formación para cada puesto se resumen en una matriz como la que se muestra de forma simplificada en la figura 8.9, donde se tabulan las diferentes funciones o responsabilidades frente a los módulos de formación o entrenamiento.

Mandos y técnicos

Las personas que tienen responsabilidades especiales dentro del sistema de gestión de seguridad deben recibir una formación específica. Lees propone una serie de temas, que se presentan en la tabla 8.2. Dependiendo de la responsabilidad concreta, conviene hacer énfasis en unos u otros aspectos. Para un ingeniero de proceso debe enfatizarse la seguridad intrínseca, análisis de riesgos y consecuencias, normas y legislación, diseño de sistemas de alivio de presión..., mientras que para un

	MÓDULOS DE FORMACIÓN Y ENTRENAMIENTO									
	Seguridad básica	Normas y reglamentos	Manual de operación	Reactividad	Seguridad e higiene	Trabajos peligrosos	Permisos de trabajo	Plan de emergencia	Control de modificaciones	
PUESTO O RESPONSABILIDAD										
Director de producción										
Jefe de planta										
Jefe de departamento										
Ingeniero de planta										
Operador de planta										
Operario de mantenimiento										

Figura 8.9. Ejemplo simplificado de una matriz de necesidades de formación. No están recogidos todos los puestos ni todos los posibles módulos a impartir.

Tabla 8.2. Posibles temas de formación en seguridad para mandos y técnicos.
[Adaptado de Lees (2).]

- Responsabilidad de la seguridad-Política y organización de la empresa.
- Requisitos, normas y legislación de seguridad e higiene.
- Principios de seguridad y prevención de pérdidas.
- Riesgos del proceso y productos químicos.
- Procedimientos de mantenimiento y permisos de trabajo seguro.
- Sistemas de prevención y protección contra incendios.
- Planes de emergencia.
- Procedimientos de formación.
- Comunicación e información.
- Recipientes a presión, sistemas de alivio.
- Sistemas de control, paradas de emergencia.
- Accidentes: fuentes de información, casos reales, casos prácticos.
- Fuentes de información sobre seguridad y personas de contacto.

ingeniero de producción puede ser necesario insistir más en la formación, comunicación y casos prácticos de accidentes.

En cualquier caso, y debido a las grandes diferencias entre los distintos puestos, dado el contenido técnico de las materias, la formación necesaria debe determinarse a partir de un análisis detallado de las responsabilidades del puesto y del plan de carrera del individuo.

Operarios

Los trabajadores de la industria química necesitan un grado de formación y entrenamiento muy superior al promedio de las otras industrias. La complejidad de los procesos químicos continuos junto con el riesgo asociado al manejo de productos tóxicos, reactivos o inflamables hace que se necesiten conocimientos y entrenamiento altamente especializados.

Aparte de la formación inicial, que debe ser cuidadosamente evaluada, siempre se requiere formación y entrenamiento específico sobre la instalación y el puesto concretos en que el operador va a llevar a cabo su labor. Al igual que en el caso anterior, es necesario partir de una evaluación de las necesidades de formación en función de los requisitos del puesto. Lees da una lista de temas de formación a considerar, que se muestra en la tabla 8.3.

Tabla 8.3. Posibles temas de formación en seguridad para trabajadores.
[Adaptado de Lees (2).]

- Responsabilidad de la seguridad-Política y organización de la empresa.
- Requisitos, normas y legislación de seguridad e higiene.
- Riesgos del proceso y productos químicos.
- Lucha contra incendios. Precauciones. Actuación en caso de incendio.
- Productos tóxicos. Acciones en caso de fugas.
- Plan de emergencia local.
- Equipo de protección personal. Normas de uso.
- Primeros auxilios.
- Manejo y elevación de objetos.
- Seguridad. Áreas restringidas.
- Comunicación e información de incidentes y accidentes.
- Sistema de permisos de trabajo.
- Orden y limpieza.
- Higiene. Aspectos médicos.
- Accidentes: fuentes de información, casos reales, casos prácticos.

Las principales circunstancias en que es necesario dar entrenamiento son:

— *A un nuevo empleado tras su incorporación.* El plan de formación de los nuevos empleados debe estar claramente establecido, y un empleado no debe asumir tareas individualmente mientras no haya completado su formación y su aprovechamiento haya sido evaluado positivamente. Es en este momento, sobre «terreno virgen», cuando las buenas prácticas se adoptan más fácilmente como propias. Si el primer aprendizaje es incorrecto, luego resulta mucho más difícil la corrección de los malos hábitos.

— *Cuando se cambian el puesto o las responsabilidades de una persona.* Normalmente en estos casos basta con complementar la formación ya recibida hasta cubrir los requisitos del nuevo puesto. Cuando se trata de un puesto de supervisión no se debe olvidar la formación sobre cómo ejercer el mando, y el papel clave que, como tal, tiene en la seguridad.

— *Cuando se han producido cambios en la planta, el proceso o los procedimientos de operación.* No basta con introducir los cambios en los procedimientos escritos, sino que la manera de asegurar su comprensión es la discusión, paso a paso, de las modificaciones y las razones que han llevado a ellas.

— *De forma periódica.* Es útil para refrescar los conocimientos que pueden olvidarse más fácilmente. También contribuye a crear un ambiente favorable a la seguridad. Habitualmente, los procedimientos más críticos, en los que es preciso no permitir errores, son los que menos se practican, ya que, afortunadamente, las condiciones de emergencia suelen ser escasas. Es necesario mantener frescos siempre estos conocimientos, que son los más propensos a ser olvidados o simplificados de manera peligrosa.

Medios para la formación

Existen numerosas opciones a la hora de seleccionar la forma de desarrollar un determinado módulo de formación o entrenamiento. A continuación se citan algunas de ellas, con sus principales características.

— *Charlas o conferencias.* Es la opción menos participativa. Es buena cuando se transmite información o conocimientos teóricos. Puede complementarse con un debate posterior.

— *Formación individual con manuales.* Puede ser especialmente útil para el estudio de los procedimientos de operación de la planta, siguiendo un manual con autoevaluaciones mediante preguntas y respuestas.

— *Videos.* Son una herramienta útil para iniciar una discusión. Normalmente los autores proponen la dinámica a seguir tras la proyección. Numerosas instituciones como el AIChE, IChemE, Chemical Industries Association (Reino Unido), NFPA, API..., tienen amplios catálogos sobre temas de seguridad e higiene. La mayoría están en inglés.

— *Video interactivo.* Es una tecnología en auge, basada en la simulación de situaciones por ordenador sobre un argumento referente a un caso práctico. El alumno puede elegir distintas opciones en cada situación y ver las consecuencias.

— *Historias de casos prácticos participadas.* Es una de las técnicas más utilizadas en el pasado. Aunque no es tan realista como la anterior, deja un campo muy amplio a la discusión y la participación de todos los alumnos. El trabajo en grupos multidisciplinares, con operarios, técnicos, ingenieros de proceso, etc., da resultados muy positivos por el intercambio de experiencias y puntos de vista que supone.

— *Prácticas de laboratorio.* Se emplea más para técnicas manuales como soldadura o electrónica. También es útil para mostrar la peligrosidad de los compuestos químicos.

— *Formación en el puesto.* Es una de las más utilizadas. Suele combinarse con la instrucción con manuales. Un trabajador experimentado acompaña al alumno y le va enseñando las operaciones a realizar. En una segunda fase, el alumno realiza el trabajo bajo la supervisión del veterano, hasta que se le juzga capaz de trabajar independientemente.

— *Entrenamiento en simulador.* Mediante sistemas informáticos se puede reproducir la respuesta de la totalidad o una parte de la planta a las diferentes acciones del operario. Es conveniente que las consolas y cuadros de control sean iguales o similares a los que estarán instalados en la planta.

Comunicación

Aparte de los programas de formación específicos para cada circunstancia, es necesario establecer un ambiente de intercambio de información y mejora continua dentro de la organización que permita compartir las experiencias y sacar el máximo provecho de ellas.

Especialmente a medida que el número de empleados de la empresa aumenta, es más difícil asegurar que todas las personas tienen la información que necesitan. En la mayoría de los casos es necesario establecer mecanismos para asegurar el intercambio de información entre departamentos, plantas, o incluso entre centros de producción de la misma compañía.

Además de la circulación por rutas preestablecidas de los informes, investigaciones de incidentes, estadísticas y otras informaciones de interés, una de las maneras más comunes es establecer reuniones periódicas de seguridad (una o dos veces al mes). Conviene que en las reuniones esté presente el responsable de la planta, sin perjuicio de la asistencia del jefe de seguridad. Algunos de los puntos en torno a los que se pueden estructurar estas reuniones son:

- Discusión de incidentes en la planta propia o en otras.
- Presentación por parte de los asistentes de experiencias personales relacionadas con la seguridad, que se ponen en común.
- Revisión de un procedimiento de operación, modificándolo posteriormente de acuerdo con las conclusiones.

- Estudio de casos prácticos de seguridad.
- Charlas breves sobre seguridad e higiene.

Estas reuniones deben extenderse también a las áreas de *staff* relacionadas con la producción, como ingeniería y mantenimiento, o pueden integrarse dentro de las reuniones periódicas del departamento.

También pueden establecerse equipos temporales, constituidos por personas de un departamento, o bien interdisciplinarios, con el fin de realizar tareas concretas, como revisiones de los análisis de trabajo seguro o procedimientos de operación. La participación debe ser voluntaria, aunque es deseable que se extienda a todo el personal.

Cuestiones y problemas

8.1. Realizar un análisis de trabajo seguro para la descarga de una cisterna de ácido sulfúrico a un tanque de almacenamiento.

8.2. Estudiar el proceso de puesta en marcha de un quemador de gas natural y proponer una secuencia segura de arranque.

8.3. Muchos accidentes se deben a errores al pulsar el botón inadecuado. Describir los factores que intervienen y la manera de reducir la frecuencia.

8.4. Otra causa común de accidentes son los errores en la apertura o cierre de válvulas. Discutir las posibles causas y soluciones.

8.5. ¿Qué factores habrá que tener en cuenta en la implantación de un intercambiador de calor para asegurar su mantenibilidad?

8.6. Kletz (5) describe el siguiente caso: Se emitió un permiso de trabajo para conectar una manguera de nitrógeno a la brida A (ver figura 8.10) para comprobar la ausencia de fugas en un equipo y después volverla a desconectar (la brida no estaba identificada). Cuando se terminó la prueba, el supervisor del trabajo ordenó desconectar la manguera a un mecánico distinto del que la había conectado, que era nuevo. Este mecánico no entendió bien las instrucciones y desconectó la brida B. El supervisor firmó el permiso sin verificar el trabajo y lo devolvió al responsable de producción, que puso el equipo en marcha, produciendo una fuga de gas tóxico.

Describir los fallos que tuvieron lugar y proponer posibles soluciones.

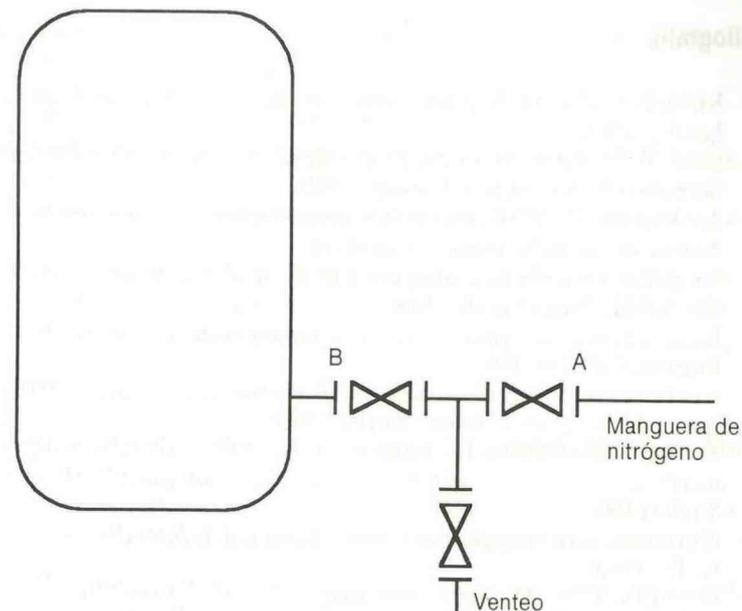


Figura 8.10. Esquema de la instalación del problema 8.6.

8.7. Houston (28) describe el siguiente accidente: Uno de los cabezales de un recipiente que se usaba para almacenar un compuesto orgánico de alto punto de fusión estalló, hiriendo a tres trabajadores que se encontraban en las cercanías. La línea de llenado del recipiente estaba calentada con vapor, pero a pesar de ello solía taponarse con frecuencia. Era costumbre pasar aire a 7 bares por la línea antes y después de cada operación de transferencia de líquido, a fin de eliminar los tapones.

En esta ocasión, el operario observó que la válvula de seguridad del recipiente no se abría y supuso que la línea de entrada de aire estaba bloqueada. Realmente era la válvula de seguridad la que estaba bloqueada, y cuando la presión llegó a 2 bares el cabezal se rompió. Los restos de producto a 120° C que quedaban dentro del recipiente alcanzaron a tres hombres que se encontraban trabajando a unos cinco metros y que fueron gravemente heridos.

Realizar una investigación del accidente, analizando todas las causas que contribuyeron a que ocurriera y proponiendo modos de actuación seguros.

Bibliografía

1. KING, R.: *Safety in the process industries*. Butterworth-Heinemann Ltd. Londres (1990).
2. LEES, F. P.: *Loss prevention in the chemical industries* (2 volúmenes). Butterworth-Heinemann. Londres (1980).
3. ARMENANTE, P. M.: *Contingency planning for industrial emergencies*. Van Nostrand Reinhold. Nueva York (1991).
4. *Guidelines for technical management of chemical process safety*. CCPS of the AIChE. Nueva York (1989).
5. KLETZ, T. A.: *An engineer's view of human error*. Institution of Chemical Engineers. Rugby (1991).
6. KLETZ, T. A.: *Lessons from disaster. How organizations have no memory and accidents recur*. IChemE. Rugby (1993).
7. LE VINE, R., (Arthur D. Little Inc.): *Guidelines for safe storage and handling of high toxic hazards materials*. CCPS of the AIChE. Nueva York (1988).
8. *Responsible care management systems*. Chemical Industries Association. U. K. (1992).
9. SANDERS, R. A.: *Management of change in chemical plants*. Butterworth-Heinemann Ltd. Londres (1993).
10. DOW CHEMICAL IBÉRICA. *Curso sobre seguridad en la industria química*. Impartido en la U.P.V. (1990).
11. LO PINTO, L.: *Complying with OSHA's new safety law*. Chem. Eng. Enero 1993.
12. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE: *API recommended Practice 750. Management of process hazards*. (1.ª edición). Washington, D. C. (1990).
13. SUTTON, I. S.: *Write a better operating manual*. Hydrocarbon processing, diciembre 1991.
14. OZOG, H. y STICKLES, R. P.: *What to do about process safety audits*. Chem. Eng, septiembre 1992.
15. KLETZ, T. A.: *Organizations have no memory when it comes to safety*. Hydrocarbon processing, junio 1993.
16. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, AENOR: *Norma UNE 66902-89, Modelo para el aseguramiento de la calidad en la producción y la instalación*.
17. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 7750: 1992 *Environmental management systems*.
18. ENGLUND, S. M.: *Design and operate plants for inherent safety* (2 partes). Chem. Eng. Prog., marzo-mayo 1991.
19. DEMING, W. E.: *Calidad, productividad y competitividad. La salida de la crisis*. Díaz de Santos. Madrid (1989).
20. *Guidelines for auditing process safety management systems*. CCPS of the AIChE. Nueva York (1992).
21. *Plant guidelines for technical management of chemical process safety*. CCPS of the AIChE. Nueva York (1992).
22. *Guidelines for safe automation of chemical process*. CCPS of the AIChE. Nueva York (1992).
23. JURAN, J. M., y GRZYNA, F.: *Manual de control de calidad*. Díaz de Santos. Madrid (1993).
24. GREENBERG, H. R., y CRAMER, J. J. (Eds.): *Risk assessment and risk management for the chemical process industry*. Van Nostrand Reinhold. Nueva York (1991).
25. KENNEY, W. F.: *Process risk management systems*. VCH. Nueva York (1993).
26. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA: *Reglamento de Aparatos a Presión e Instrucciones Técnicas Complementarias*. Centro de Publicaciones. Madrid (1989).
27. HENDERSON, J. M., y KLETZ, T. A.: «Must plant modifications lead to accidents?» en *Process Industry Hazards-Accidental release assessment, containment and control*. Institution of Chemical Engineers. Londres (1976).
28. HOUSTON, D. E. L.: «New approaches to the safety problem» en *Major Loss Prevention in the process industries*. Institution of Chemical Engineers. Londres (1971).
29. JENSSEN, T. K.: «Systems for good management practices in quantified risk analysis». *Process Safety Progress*, 12 (3), 137.
30. KURYIA, M. L., y YOHAY, S. C.: *New safety rules add to plant managers' worries*. Chem. Eng., junio 1992.