

contienen una información suficiente para el estudio y es necesario verificar que existen bastantes copias de cada diseño. De modo análogo, la secuencia del estudio es clara. El equipo de estudio comienza al principio del proceso y va siguiendo progresivamente sus diversas etapas. En el apéndice 1 figuran una lista de las plantas típicas de este tipo junto con un ejemplo elaborado de parte de un estudio.

Dada la relativa sencillez del estudio de los procesos de funcionamiento continuo, la mayor parte de esta sección y la mayor parte del material de los ejemplos elaborados (véanse los apéndices 2 y 3) están dedicadas a las situaciones más complejas que se dan en la fabricación por lotes

En las plantas que fabrican por lotes, el trabajo preparatorio suele ser más amplio. Además de los diseños que describen la propia planta, es necesario conocer la secuencia de las operaciones de la planta. Esto se consigue de diversas formas. por ejemplo, mediante instrucciones de funcionamiento, diagramas lógicos o diagramas de secuencia de los instrumentos. En algunas circunstancias (por ejemplo, cuando se está procesando al mismo tiempo más de un lote de material) es necesario preparar una descripción en la que se indique la situación de cada recipiente sobre una base temporal. En este caso, los operarios pueden participar físicamente en el proceso (por ejemplo, cargando los recipientes) o limitarse a controlarlo, y sus actividades han de representarse por medio de diagramas de proceso.

A veces no será posible seguir un diagrama de fabricación desde el comienzo y continuar con las fases descendentes. En este caso, el equipo comenzará con la primera instrucción de funcionamiento y aplicará las palabras-guía a ella (o a parte de ella) y se remitirá al diagrama lineal, a los diagramas del proceso, etc. El jefe del estudio preparará normalmente un plan para la secuencia del estudio antes de iniciarlo. En el apéndice 2 figura una lista de plantas típicas de este tipo junto con un ejemplo simplificado

Con algunos tipos de partidas de equipo patentado y complicado, el trabajo preparatorio puede ser largo y requerir más días-hombre que el propio examen. Los fabricantes de equipo raras veces suministran información suficiente en la forma adecuada para el estudio y, por regla general, no existen diagramas de fabricación que muestren la plena integración de un elemento patentado del equipo en la planta existente

Algunas veces se montan en serie diversos elementos patentados de diferentes fabricantes.

El jefe del estudio prepara con frecuencia un modelo adecuado que se ajusta a la aplicación de la técnica al equipo. Ese modelo puede incluir un gráfico de sus relaciones con los operarios y con otras plantas. Este trabajo preparatorio suele requerir un largo diálogo entre el ingeniero del proyecto y el jefe del estudio, y en ocasiones se necesita asimismo la participación de los fabricantes. El jefe del estudio preparará un plan para el estudio y examinará el modelo y el plan con el equipo antes de iniciar el estudio. En el apéndice 3 figuran un ejemplo y una lista del equipo típico que podría analizarse de esta forma

Una vez que se han reunido los datos y se ha elaborado el modelo (de ser necesario), el jefe del estudio está en condiciones de organizar reuniones. El primer requisito consiste en calcular las horas del equipo necesarias para efectuar el estudio. Esto se puede llevar a cabo de diversas maneras. Por regla general, cada parte individual que se ha de estudiar (por ejemplo, cada tubería principal de un recipiente) absorberá por término medio quince minutos del tiempo del equipo. El ejemplo sencillo mostrado en la figura 1 llevaría hora y media, sobre la base de dedicar quince minutos a cada una de las dos entradas, a cada una de las dos salidas, al respiradero y al propio recipiente.

Por tanto, cabe hacer un cálculo, tomando en consideración el número de tuberías y de recipientes. Otra forma de hacer un cálculo aproximado consiste en asignar dos horas y media a cada recipiente. Se deben prever asimismo quince minutos a cada afirmación verbal simple, como «conectar el conductor», «puesta en marcha del motor», «puesta en marcha del transportador»

Una vez que se han calculado las horas del equipo necesarias, el jefe del estudio (o el secretario) puede considerar la organización de reuniones. Lo ideal es limitar la duración de las sesiones de examen a tres horas (de preferencia durante la mañana). Los períodos más largos de examen no son convenientes debido a que, habitualmente, la eficacia empieza a disminuir pasado ese tiempo. En condiciones de presión del tiempo extrema, se han celebrado sesiones de examen durante dos días consecutivos, pero ese programa sólo se debe intentar realizar en circunstancias muy excepcionales.

De ser posible, no debe haber más de dos sesiones por semana para realizar el trabajo de seguimiento o

complementario descrito en la sección 3.5. Esto puede originar dificultades cuando los miembros del equipo tienen que desplazarse al lugar de reunión.

Las sesiones de examen deben organizarse en salas donde no haya distracciones y que posean mesas con mucho espacio para diagramas, gráficos, etc.

Cuando se trata de proyectos de gran capital, a menudo un solo equipo no puede realizar todos los estudios dentro de los límites de tiempo impuestos. En consecuencia, quizás resulte necesario utilizar una multiplicidad de equipos y jefes de equipo. En ese caso, uno de los jefes de equipo debe actuar como coordinador y asignar diversas secciones del diseño a diferentes equipos y preparar calendarios para todo el estudio.

### 3.4. El examen en la práctica

En la sección 2 ya se han descrito los principios, y la finalidad del presente capítulo consiste en facilitar asesoramiento práctico sobre cómo se han de aplicar esos principios.

Las sesiones de examen están muy estructuradas y el jefe del estudio controla el debate siguiendo su plan predeterminado. Si el enfoque se basa sobre el diagrama de producción, elige el primer recipiente y pide al equipo que explique su función general. Luego elige una tubería u otro elemento del diseño y pide al equipo que explique su finalidad. Esto no siempre es sencillo, pero a menos que todos los miembros del equipo sepan exactamente qué función se supone que ha de cumplir algo, no se podrán producir desviaciones. Se utiliza un método análogo, si la secuencia del estudio se basa sobre las instrucciones de funcionamiento.

El jefe del estudio aplica a continuación la primera palabra-guía y comienza el debate del equipo. A veces es necesario, en particular con un equipo falto de experiencia, que el jefe del estudio estimule el debate formulando otras preguntas como: «¿Puede detenerse el flujo?» o «¿Tiene importancia que se detenga?». En la medida de lo posible, el jefe del equipo debe limitarse a hacer preguntas de sondeo. El equipo debe no sólo proporcionar las respuestas técnicas, sino ser estimulado para que utilice su imaginación y reflexione sobre todas las desviaciones y los propios riesgos.

A medida que se detecten los riesgos de accidentes, el jefe del estudio debe asegurarse de que todos los miembros los entienden. Como se ha mencionado antes,

el grado de solución de los problemas durante las sesiones de examen puede variar. Hay dos posiciones extremas:

- i) Se halla una solución para cada riesgo de accidente que se detecta antes de examinar el riesgo siguiente.
- ii) No se comienza a buscar soluciones hasta que se han detectado todos los riesgos.

En la práctica se opta por una posición intermedia. Quizás no sea apropiado o ni siquiera posible que un equipo encuentre una solución durante una reunión. Por otro lado, si la solución es clara y local, cabe adoptar una decisión, y el diseño y la instrucción de funcionamiento se pueden modificar de inmediato. En cierta medida, la capacidad para adoptar decisiones rápidas depende del tipo de planta que se está estudiando. Con una planta de funcionamiento continuo, una decisión adoptada en un punto del diseño puede no invalidar las decisiones anteriores relativas a partes de la planta en las que se efectúan operaciones anteriores que ya se han estudiado. Sin embargo, siempre hay que tomar en consideración esta posibilidad. Para las plantas que fabrican por lotes con un control de secuencia, cualquier alteración del diseño o modo de funcionamiento puede tener amplias repercusiones.

Si se señala una cuestión para efectuar una evaluación futura, se toma también nota de la persona designada para seguir su examen.

El jefe del estudio debe hacer un resumen al final del debate del equipo, antes de pasar a la palabra-guía siguiente. Sin embargo, debe mantener un ritmo suficiente para evitar que el equipo se aburra y también para respetar en la medida de lo posible el calendario convenido. Con este fin, quizás sea necesario suspender un debate erudito entre dos expertos sugiriendo que el punto de ese acuerdo se anote y se resuelva fuera de la reunión.

Aunque el jefe del estudio se haya preparado adecuadamente, la técnica permite profundizar mucho y puede poner al descubierto lagunas en el modelo o en los conocimientos de los miembros del equipo. A veces puede resultar necesario explayarse sobre algunos aspectos durante la reunión o incluso aplazar ciertas partes del estudio para obtener más información.

Una vez que se ha examinado a fondo una sección de tubería o un recipiente o una instrucción de

funcionamiento, el jefe del estudio debe hacer en su ejemplar la marca correspondiente. Esto permite garantizar que el examen será completo. Otra forma de proceder consiste en que, cada vez que se ha examinado una parte del diseño, el jefe del estudio certifique que el examen ha quedado completado en la casilla correspondiente del diagrama.

Ya se ha mencionado que algunas veces se recurre a un secretario del estudio, así como a un jefe del estudio. Se suele recurrir a los secretarios en alguna de las circunstancias siguientes:

- i) cuando el examen se debe realizar muy rápidamente debido a presiones de tiempo sobre los miembros del equipo;
- ii) cuando el estudio es complejo y el jefe debe orientar al equipo utilizando de manera simultánea diversas fuentes de información (por ejemplo, diagramas, instrucciones de funcionamiento, diagramas de control de secuencia y diagramas de obstáculos). El empleo de un secretario permite que el jefe se concentre en dirigir el estudio.

### 3.5. Trabajo complementario o de seguimiento

El seguimiento de las sesiones de examen no suele plantear problemas. Si se han de adoptar decisiones con respecto a los cambios de diseño o de los métodos de funcionamiento, éstos deben comunicarse a los responsables. Cualquier problema pendiente debe resolverse mediante la obtención de más información seguida de medidas, y debe haber cierta forma de perseguir el progreso.

Algunas veces el resultado de las sesiones de examen consiste en gran parte o exclusivamente en preguntas que se han de contestar más tarde. El jefe del estudio (o el secretario) puede compilar una lista de las preguntas para distribuirla a los miembros del equipo. Tras un intervalo, el equipo se vuelve a reunir en lo que se denominan «sesiones de evaluación y acción». En éstas se repasa cada cuestión, se anotan los progresos logrados y, cuando es posible, se adoptan decisiones. Una sesión de evaluación y acción puede tratar del resultado de dos o tres sesiones de examen.

Una vez que se ha descubierto un riesgo, por lo común se convendrá el tipo de medida requerida para proporcionar un sistema seguro con bastante rapidez, debido a que a menudo existe una medida correctiva evidente a mano. Con todo, en algunos casos resulta

manifiesto que existen varias medidas posibles y el equipo tendrá cierta dificultad para acordar cuál es la línea de acción más eficaz. Las medidas para frenar los riesgos suelen ser de cuatro categorías.

- i) un cambio en el proceso (fórmula, materiales, etc.),
- ii) un cambio en las condiciones del proceso (presión, temperatura, etc.),
- iii) una alteración del diseño físico;
- iv) un cambio del método de funcionamiento.

Es importante examinar un amplio conjunto de posibles medidas y no excluir que todos los riesgos se pueden y se deben contener simplemente por medio de una alteración del diseño físico.

Al hacer una opción entre diversas medidas posibles, puede resultar útil clasificarlas en dos categorías.

- i) las medidas que suprimen la causa del riesgo;
- ii) las medidas que reducen sus consecuencias.

En general, es preferible y más eficaz suprimir el riesgo y, a condición de que el estudio se realice en la etapa del diseño, esto se suele hacer sin gasto excesivo (véase también la sección 4.1). Si no hay posibilidades razonables de suprimir el riesgo, el equipo tendrá que considerar qué se puede hacer para proteger a las personas y a la planta, si se produce el accidente.

Para ilustrar el tipo de razonamiento aplicable, consideremos un recipiente de reacción en el que, en una sesión de examen, se descubrió que si se introdujera una impureza con alguna de las materias primas, en el recipiente se produciría una evolución repentina del gas y de la presión.

Supongamos que el riesgo se pudiera frenar adoptando alguna de las tres medidas siguientes:

- i) eliminación de la posibilidad de la evolución del gas mediante la modificación de la materia prima responsable del problema;
- ii) eliminación de la posibilidad de la evolución del gas modificando alguna de las condiciones del proceso;
- iii) incorporar un sistema adecuado de reducción de la presión y de salida para proteger la planta.

La solución i) será 100 por ciento eficaz y debe ser la primera opción.

La solución ii) debe considerarse con atención, ya que su adecuación dependerá de la fiabilidad del sistema de control que rige la condición del proceso.

La solución iii) sólo es adecuada si el sistema de salida se puede diseñar para hacer frente a la evolución del gas y si la fiabilidad de ese sistema es aceptable.

El *análisis del riesgo* es una técnica para decidir la línea de acción que se ha de seguir cuando deben tomarse en consideración varias posibilidades. Un examen de esta técnica queda fuera del alcance del presente libro, y las referencias 2 a 7 dan más información. Sin embargo, se debe insistir en que la evaluación de los riesgos es sólo tan convincente como la información que se utiliza para efectuar su cálculo. Los resultados son un riesgo estadístico para la vida y los bienes, y deben aceptarse como una orientación para indicar si es necesario adoptar medidas y qué línea de acción resultará con probabilidad más eficaz teniendo en cuenta los gastos en que se incurre.

Cuando se ha decidido modificar un diseño, método de funcionamiento, etc., a menudo es necesario someter la nueva finalidad del diseño a una segunda ronda de exámenes para asegurarse de que el cambio no ha introducido un riesgo nuevo e imprevisto.

Por último, se debe insistir en que las actividades complementarias al seguimiento no quedan finalizadas hasta que se han abordado todos los riesgos de accidente reconocidos mediante la aplicación de todas las medidas convenidas.

### 3.6. Anotación de los resultados

Una actividad importante del equipo del estudio consiste en anotar sus resultados. Una forma útil de registro es la creación de un «archivo de riesgos», el cual contiene.

- i) una copia de los datos (diagramas de producción, instrucciones de funcionamiento, diagramas de obstáculos, modelos, etc.) utilizados por el equipo durante las sesiones de examen y marcados por el jefe del estudio cuando han sido examinados;
- ii) un ejemplar de todos los documentos de trabajo, preguntas, recomendaciones, nuevos diseños, etc., producidos por el equipo y otras personas como resultado del estudio.

El archivo debe conservarse en la planta para que sea una fuente de información, si el personal de funcionamiento contempla posteriormente la posibilidad de introducir cambios.

Además, los resultados de un estudio pueden ser también objeto de un informe especialmente preparado.

Esto es habitual si el estudio incluye una cuantificación de riesgos particulares. Asimismo, se pueden redactar informes para orientación del personal directivo u otros profesionales, si un estudio tiene algunas características interesantes o excepcionales.

El registro oficial del estudio puede tener en el futuro otras repercusiones. Por ejemplo, un estudio bien realizado puede influir en las primas de seguros o contribuir a la planificación de los permisos.

Por último, la información obtenida gracias a los estudios se puede utilizar para mejorar los diseños futuros.

## 4. La programación de los estudios

Hasta ahora, el procedimiento del estudio de los riesgos de accidentes en relación con el funcionamiento se ha examinado de modo independiente y no en relación con los proyectos principales como un todo. El mejor momento para realizar un estudio es la etapa de «congelación del diseño», es decir, cuando el diseño es bastante firme. En esa etapa se han aportado oficialmente detalles suficientes a la intención del diseño para que el mecanismo de los estudios del riesgo en relación con el funcionamiento, que es esencialmente inquisitivo, obtenga respuestas útiles. Al mismo tiempo, es posible modificar el diseño de la planta sin incurrir en gastos innecesarios.

Cualquier intento de llevar a cabo un estudio de los riesgos relacionados con el funcionamiento propiamente dicho en una etapa temprana, antes de que el diseño esté plenamente determinado, no dará resultado debido a que no se dispondrá de detalles suficientes. Sin embargo, se puede utilizar el método de la «lista de verificación» complementaria en una etapa muy temprana de un proyecto, en la etapa de «definición del proyecto», cuando los principales parámetros y esquemas del diseño se han decidido, pero antes de que comience el diseño pormenorizado. Este método se describe en la sección 4.1.

Los estudios de los riesgos en relación con el funcionamiento se pueden realizar cuando ha quedado completada en gran parte la construcción, pero antes de que entre en servicio. Los estudios en esa etapa son particularmente útiles como una verificación de las instrucciones de funcionamiento. No obstante, la corrección de las faltas del diseño en esa etapa puede resultar cara y provocará retrasos.

Asimismo, se puede efectuar un estudio de una planta existente. El principal beneficio es también en este caso el mejoramiento de los métodos de funcionamiento.

#### 4.1. Verificación temprana de los riesgos de accidentes mayores

Es muy conveniente estudiar los *riesgos principales*, con inclusión de la posibilidad potencial de una interacción desastrosa entre las plantas, en una etapa muy temprana de la elaboración de un proyecto. En esta guía se incluye una técnica para llevar a cabo esa verificación, aunque no se trate en sentido estricto de un estudio de los riesgos en relación con el funcionamiento, porque si se utiliza facilitará de manera considerable un estudio completo de los riesgos en relación con el funcionamiento cuando éste se lleve luego a cabo en la etapa de la «congelación del diseño».

Un requisito fundamental consiste en poner al descubierto los riesgos principales. Una vez que éstos se conocen, es posible adoptar ciertas *decisiones fundamentales* como.

- i) dónde se debe ubicar la planta;
- ii) cuál debe ser el emplazamiento de la planta dentro del lugar con respecto a sus límites, la situación de otras fábricas, etc.,
- iii) qué aspectos particulares del diseño tendrán necesidad de una elaboración especial para prevenir los riesgos,
- iv) qué otras investigaciones son necesarias a fin de obtener la información (toxicidad, inflamabilidad, etcétera) requerida para producir un diseño eficaz.

La determinación de los riesgos principales puede resultar bastante fácil una vez que se establecen los *parámetros generales* siguientes

- i) Materiales:
  - Materias primas
  - Productos intermedios
  - Productos
  - Efluentes
- ii) Operaciones de la unidad de dependencia.
  - Mezclado
  - Destilación
  - Secado, etc.
- iii) Trazado o plan.
  - Disposición de las unidades donde se llevan a cabo las actividades dentro de la planta
  - Relaciones espaciales con otras instalaciones

Estos parámetros generales deben estudiarse luego a su vez, cuando se les aplique una lista de verificación de los *riesgos de accidentes mayores*. Una lista de verificación útil para la mayor parte de las fábricas de productos químicos es la siguiente

Incendio	Ruido
Explosión	Vibraciones
Detonaciones	Materiales nocivos
Toxicidad	Electrocución
Corrosión	Asfixia
Radiaciones	Fallo mecánico

Desde luego, cabe añadir otros riesgos para tipos particulares de procesos.

Cuando los riesgos potenciales se aplican a su vez a los parámetros generales, cualquier combinación significativa puede indicar un riesgo importante y, en ese caso, éstos se deben examinar en relación con la lista de decisiones fundamentales.

Unos cuantos ejemplos ilustrarán el procedimiento:

Una combinación significativa de INTERMEDIO X e INCENDIO puede poner de relieve que los límites de inflamabilidad no se conocen y se deben obtener antes de diseñar de manera apropiada un secador

Una combinación significativa de GAS EFLUENTE y TOXICIDAD inducirá a reconsiderar el emplazamiento y el tratamiento del gas efluente

Una combinación significativa de MATERIAS PRIMAS, INCENDIO y ALMACENAMIENTO DE NITROGENO LIQUIDO inducirá a reconsiderar la disposición de la zona de almacenamiento.

Este procedimiento puede ser aplicado muy rápidamente por un pequeño grupo de personas experimentadas

El método de la lista de verificación ayuda a garantizar la compatibilidad en una etapa temprana y puede emplearse para evaluar las relaciones recíprocas entre una planta y otra, y entre una planta y el medio ambiente.

La verificación de los riesgos de accidentes mayores se debe llevar a cabo cuando se dispone del tiempo suficiente para efectuar alteraciones importantes y fundamentales en el concepto del diseño. Al realizar un estudio de los riesgos en relación con el funcionamiento más detallado en una etapa posterior, sólo se deben detectar riesgos menores que requerirán únicamente pequeñas modificaciones o cambios del diseño de los métodos de funcionamiento para frenar dichos riesgos

#### 4.2. Estudios en la etapa de «congelación del diseño»

Este es el momento más oportuno para realizar un estudio de los riesgos de accidentes en relación con el funcionamiento. Los planos son, por definición, exactos. El personal del diseño sabrá en ese momento por qué la planta se ha proyectado de una manera determinada. Si se elabora un diagrama de producción sustancialmente modificado para cada sección, al equipo le resultará difícil saber si una sección particular se ha estudiado en su forma definitiva.

Sin embargo, es posible llevar a cabo un estudio de elementos del equipo patentados en cualquier momento, incluso antes de que se haya adoptado una decisión de comprarlos, debido a que el diseño ya estará establecido por el fabricante.

Análogamente, es posible realizar un estudio de secciones de una planta cuyos diseños estén establecidos y detallados antes que otros. No obstante, se debe poner cuidado en examinar éstos más tarde para asegurarse de que en las interacciones con otras secciones de la planta no se han introducido nuevos riesgos.

#### 4.3. Estudios antes de la puesta en marcha

Es posible realizar un estudio cuando la construcción está sustancialmente terminada y se han redactado las instrucciones de funcionamiento preliminares. Si se ha llevado a cabo un estudio completo en la fase de «congelación del diseño» y si la persona que preparará las instrucciones de funcionamiento era un miembro del equipo del estudio, no debe ser necesario realizar otro estudio en esa etapa. Con todo, podría ser útil en las condiciones que se indican a continuación:

- i) cuando haya habido algún cambio sustancial de la finalidad del diseño en una etapa muy tardía;
- ii) cuando las instrucciones de funcionamiento sean muy críticas;
- iii) cuando la nueva planta sea una copia de una planta existente con muchos cambios en los procesos principales, más que en el equipo.

Será preciso asegurarse de que los diagramas lineales describen con precisión la planta tal como está construida.

#### 4.4. Estudios de las plantas existentes

Si bien se debe seguir haciendo hincapié en las nuevas plantas, también deben entenderse los riesgos de

accidente potenciales de las plantas existentes. Estas últimas pueden seguir en funcionamiento durante muchos años y se pueden modificar o volver a poner en funcionamiento varias veces durante su existencia. A menos que esas modificaciones se hayan manejado de forma muy metódica, pueden comprometer los márgenes de seguridad o los conceptos de seguridad incorporados en el diseño de la planta original.

Los recursos son probablemente limitados y, por consiguiente, hace falta algún método para elegir las plantas existentes que se han de estudiar. La selección puede proceder de una reacción emotiva a algún incidente reciente ocurrido en la planta que se estudia o una planta análoga. Si bien esa reacción es comprensible, no significa de modo necesario que los recursos limitados se estén dedicando al estudio de plantas que presentan los riesgos generales mayores. En consecuencia, se sugiere que se tengan en cuenta varios factores, entre ellos los siguientes:

- i) una comprobación de la seguridad ha mostrado que es conveniente efectuar un estudio más detallado;
- ii) han sucedido acontecimientos o accidentes anormales;
- iii) un procedimiento de clasificación como el de la *Dow Index* ha mostrado que esta planta tiene un alto potencial de riesgo;
- iv) la planta seguirá en servicio por mucho tiempo;
- v) la planta se ha modificado considerablemente;
- vi) es conveniente estudiar una planta particular en relación con otras plantas con las que interactúa.

Cuando se adoptan disposiciones para estudiar una planta existente, se debe prever un tiempo adicional para el trabajo preparatorio, puesto que los diagramas lineales y las instrucciones de funcionamiento están a menudo anticuados.

En la etapa de definición hace falta poner más cuidado que el habitual. El equipo elaborará recomendaciones y algunas de éstas podrán requerir cambios importantes en la planta. Conviene que esté absolutamente claro quién será el responsable de la aplicación de esas recomendaciones. Será asimismo necesario instalar un eficaz procedimiento de seguimiento y búsqueda del progreso. Este procedimiento normalmente existe en lo que respecta al nuevo proyecto principal, pero puede no existir en la misma medida cuando se están introduciendo modificaciones en una planta ya construida.

## 5. Glosario

ESTUDIOS DE LOS RIESGOS EN RELACION CON EL FUNCIONAMIENTO	La aplicación de un examen crítico sistemático y regular de las finalidades del proceso y de los elementos técnicos de instalaciones nuevas o existentes para evaluar el riesgo potencial de un mal funcionamiento o un mal manejo de elementos individuales del equipo y sus efectos sobre la instalación en conjunto.
DEFINICION DEL ESTUDIO	Declaración del objetivo y alcance de un estudio
FINALIDADES DEL DISEÑO Y DEL FUNCIONAMIENTO	La forma en que se tiene intención que funcione el proceso y el equipo en condiciones normales y en condiciones anormales previstas.
MODELO	Representación de esas finalidades o intenciones de una forma adecuada para que los técnicos la estudien. En la mayoría de los casos, los dibujos convencionales, etc., son adecuados y no se requiere ninguna representación especial
DIAGRAMA DEL PROCESO	Diagrama en el que se indica la secuencia de un flujo de actividades utilizando símbolos como los de las normas de la Sociedad Estadounidense de Ingeniería Mecánica (ASME)
DESVIACION	Abandono de la finalidad del diseño y del funcionamiento.
RIESGO	Desvío que puede causar daños, lesiones u otras formas de pérdida.
EQUIPO DEL ESTUDIO	Pequeño grupo de personas (normalmente de tres a seis) que realizar el estudio
SESIONES DE EXAMEN	Periodos (normalmente de unas tres horas) durante los cuales el equipo del estudio analiza sistemáticamente el diseño para detectar riesgos
PALABRAS-GUIA	Durante las sesiones de examen, el equipo del estudio trata de imaginarse todas las posibles desviaciones de cada finalidad del diseño y del funcionamiento. En líneas generales, existen siete categorías de desviación, cada una de las cuales puede estar asociada a una palabra o frase característica. Conjuntamente, esas palabras se designan como «palabras-guía» porque cuando se emplean en asociación con un diseño y la finalidad del funcionamiento guían y estimulan la reflexión creativa con respecto a desviaciones apropiadas.
DEBATE DEL EQUIPO	La parte de la sesión de examen que sigue al hecho de aplicar una palabra-guía a una finalidad del diseño y durante la cual los miembros del equipo deducen desviaciones significativas, determinan si son peligrosas y qué medidas se deben adoptar en consecuencia

SESIONES DE EVALUACION  
Y ACCION

En ciertas circunstancias, no es apropiado adoptar decisiones definitivas durante las sesiones de examen y, en cambio, se deben plantear una serie de cuestiones para su evaluación posterior. En estas circunstancias, se celebran otras sesiones en las que se examina cada cuestión, se comunican los resultados de las investigaciones y se adoptan decisiones

MIEMBROS TECNICOS DEL EQUIPO

Son los miembros del equipo del estudio cuya principal aportación consiste en explicar el diseño, utilizando los conocimientos prácticos, la experiencia y la imaginación durante el debate del equipo y adoptando decisiones sobre las modificaciones.

JEFE DEL EQUIPO

Persona capacitada en la metodología de los estudios de los negocios en relación con el funcionamiento, que asesorará y prestará asistencia para la recepción del estudio en general, y en particular, utilizando las palabras-guía, estimulará los debates del equipo y velará por que se consideren todos los aspectos durante las sesiones de examen. A falta de un secretario del estudio (véase *infra*), tomará también nota de las medidas o cuestiones que surjan durante esas sesiones

SECRETARIO DEL ESTUDIO

Se trata de un papel facultativo. El secretario ayuda a organizar las diversas sesiones, toma notas durante las sesiones de examen y distribuye las listas de medidas o de cuestiones resultantes

## 6. Agradecimientos

Esta guía se basa en un informe del Sr. R. E. Knowlton y del Dr. D. K. Shipley, de la División de Productos Farmacéuticos de la ICI. En ella se han tenido también en cuenta observaciones útiles de personas que realizan estudios de los riesgos en relación con el funcionamiento en otras secciones de la ICI. Deseamos también expresar nuestro agradecimiento al Dr. H. G. Lawley por habernos autorizado a utilizar su ejemplo de Chem. Eng. Prog., de abril de 1974, en el apéndice 1.

La guía ha sido preparada, para uso general de la industria, por representantes de:

BP Chemicals Ltd

The Chemical Industries Association Ltd.

ICI Central Safety Department

Shell Chemicals (UK) Ltd.

## 7. Bibliografía

- 1 Lawley, H. G. Abril de 1974. *Operability Studies and Hazard Analysis*, Chem. Eng. Prog.
- 2 Farmer, F. R. 1971. *Major Loss Prevention in the Process Industries*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34, pág. 82.
- 3 Stewart, R. M. 1971. *Major Loss Prevention in the Process Industries*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34, pág. 99.
- 4 Houston, D. E. L. 1971. *Major Loss Prevention in the Process Industries*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34, pág. 210.
- 5 Bullock, B. C. Abril de 1974. *The development and application of quantitative risk criteria for chemical processes*, Fifth Chemical Process Hazard Symposium, I. Chem. E. (Manchester).
- 6 Kletz, T. A. 1971. *Hazard Analysis - A Quantitative Approach to Safety*, I. Chem. E. Symposium Series núm. 34.
- 7 Melinek, S. J. *Methods of determining the optimum level of safety expenditure*, Building Research Establishment Current Paper. CP88/74.
- 8 Raybould, E. B., y Minter, A. L. 1971. *Problem Solving for Management* (Londres, Management Publications), págs. 86-90.
- 9 Nadler, G. 1963. *Work Design* (Homewood, Illinois, Irwin).
- 10 Whitmore, D. A. 1988. *Work Study and Related Management Services* (Londres, Heinemann), pág. 183.

## Apéndice 1

### Aplicación a una planta de fabricación continua

La elaboración original del método basado sobre los diagramas de fabricación de las plantas se efectuó al aplicar la técnica a plantas grandes de fabricación continua en una única serie, y ha habido una amplia utilización de la técnica en esta aplicación

A continuación se indican algunas de las plantas de fabricación continua más características que se han estudiado:

- Plantas de metanol
- Plantas de amoníaco
- Plantas de productos petroquímicos
- Plantas de cloro
- Plantas de sosa comercial

Como ejemplo del empleo de la técnica para poner al descubierto insuficiencias en el diseño y señalar requisitos de funcionamiento importantes en el caso de un proceso de fabricación continua, a continuación figura una sinopsis de parte de un documento de H. G. Lawley (referencia 1)

El sistema estudiado es la sección de alimentación de una dependencia propuesta de dimerización de la olefina, cuyo diseño preliminar es el que se muestra en la figura 3 y cuyo proceso se describe como sigue:

«Una fracción de alqueno/alcano que contenga pequeñas cantidades de agua suspendida se

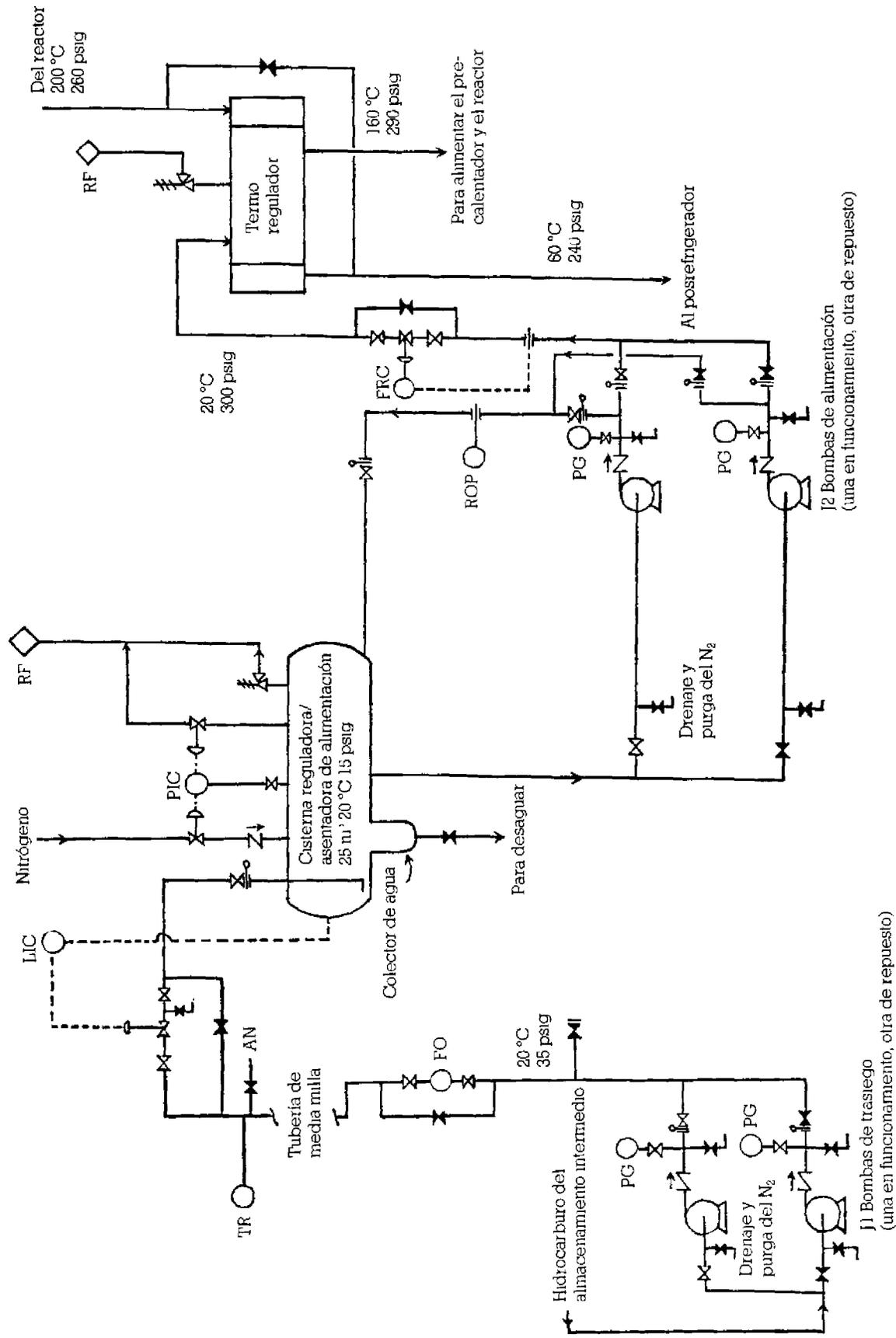
impulsa por bombeo constantemente desde el recipiente intermedio a granel por conducto de una tubería de media milla a la cisterna reguladora o asentadora. El agua residual se asienta antes de pasar por conducto del intercambio térmico alimento/producto y del precalentador a la sección del reactor. El agua, que produce un efecto negativo sobre la reacción de dimerización, se deja correr manualmente de la cisterna de asentamiento a intervalos. El tiempo de permanencia en la sección del reactor debe ajustarse a límites estrictamente determinados para garantizar una conversión adecuada del alqueno y evitar una formación excesiva de polímero.»

En el cuadro 2 se resumen los resultados de la sección de la primera línea desde el almacenamiento intermedio hasta la cisterna reguladora y se indica también la manera de reconocer la necesidad de medidas

Es imprescindible velar por que, antes de iniciar un examen, se determine claramente la finalidad del diseño. En el caso particular que se da en este ejemplo la finalidad es:

*Transferir una fracción de alqueno/alcano de una composición especificada de un almacenamiento intermedio hasta la cisterna reguladora/asentadora de alimentación a un ritmo y a una temperatura especificados y tal como se indica en la figura 3.*

Figura 3. Sección de alimentación del proyecto de planta de dimerización de la olefina



**Cuadro 2. Estudio de viabilidad de las unidades de dimerización de olefina propuestas: Resultados de la sección de canalización del almacenamiento intermedio al tanque separador/depósito de sedimentación**

Las palabras-guía se aplican a la intención del diseño que indica la función que se espera DESEMPEÑE el equipo

Palabra-guía	Desviación	Causas posibles	Consecuencias	Medidas requeridas
No	NO HAY FLUJO	<p>1) No se dispone de hidrocarburo en el almacenamiento</p> <p>2) La bomba J1 falla (fallo del motor, pérdida de la capacidad de arrastre, corrosión del impulsor, etc )</p> <p>3) Bloqueo de la canalización, cierre erróneo de la válvula de aislamiento o falta de cierre de la válvula de comunicación</p> <p>4) Fractura de la canalización</p>	<p>Pérdida de alimentación a la sección del reactor y reducción del producto. Se forma polímero en el termopermutador sin que haya corriente</p> <p>Como en 1)</p> <p>Como en 1) La bomba J1 se calienta excesivamente</p> <p>Como en 1) Descarga de hidrocarburos en zonas adyacentes a carreteras públicas</p>	<p>a) Garantizar buenas comunicaciones con el operador del almacenamiento intermedio</p> <p>b) Instalar una alarma de nivel inferior al montar el tanque LIC</p> <p>Abarcado por b)</p> <p>Abarcado por b)</p> <p>c) Instalar dispositivos de retro-alimentación en las bombas J1</p> <p>d) Verificar el diseño de los depuradores de las bombas J1</p> <p>Abarcado por b)</p> <p>e) Establecer una vigilancia e inspección regulares de la canalización de trasiego</p>
Más	MÁS FLUJO	<p>5) La válvula del canal de comunicación no se abre o deja de abrirse por error</p>	<p>El depósito de sedimentación desborda</p> <p>Separación incompleta de la fase del agua en la cisterna que produce problemas en la sección de reacción</p>	<p>f) Instalar una alarma de alto nivel en LIC y verificar la dimensión de la reducción necesaria para evitar el desbordamiento del líquido</p> <p>g) Establecer un procedimiento de esclusa para desviarse de la válvula del conducto de comunicación cuando no se utiliza</p> <p>h) Extender el conducto de succión de la bomba J2 hasta 12 en la base del tanque de más arriba</p>
	MÁS PRESIÓN	<p>6) Cierre de la válvula de aislamiento por error o cierre de la válvula del conducto de comunicación mientras está en funcionamiento la bomba J1</p>	<p>La línea de trasiego está sometida a todo el caudal de la bomba con una presión de variación rápida</p>	<p>i) Abarcado por c) salvo cuando el dispositivo de retroalimentación se bloquee o está aislado. Verificar el conducto, la frecuencia y la calibración de las bridas y reducir la velocidad del pistón de la válvula del conducto de comunicación, si es necesario Instalar un manómetro antes de la válvula del conducto de comunicación y un manómetro independiente en el depósito de sedimentación</p>

<b>Palabra-guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas posibles</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Medidas requeridas</b>
Más (continuación)		7) Expansión térmica en una sección con válvula aislada debida a un incendio o a una fuerte luz solar 8) Temperatura elevada del almacenamiento intermedio	Fractura del conducto o escape de las bridas  Presión superior en el conducto de trasiego y en el tanque de sedimentación	j) Instalación de una descarga de expansión térmica en la sección dotada de válvulas (la línea de descarga se decidirá más tarde en el estudio) k) Verificar si se cuenta con un dispositivo de alerta de alta temperatura suiticiente en el almacenamiento intermedio. De lo contrario, instalarlo
Menos	MENOS FLUJO  MENOS TEMPERATURA	9) El escape de la brnda o tubo corto de la válvula no se ha taponado y continúa 10) Condiciones invernales	Pérdida de material adyacente a carretera pública  El conducto del sumidero y del drenaje de agua se congela	Abarcadas por e) y las verificaciones en i)  l) Hacer descender el sumidero de agua hasta la válvula de drenaje y la válvula de drenaje y el conducto de drenaje de vapor a la salida
Así como	PRESENCIA DE ACIDOS ORGANICOS	11) Perturbación en los tubos de destilación antes del almacenamiento intermedio	Mayor ritmo de corrosión de la base de la cisterna, el sumidero y el conducto de drenaje	m) Verificar la idoneidad de los materiales de construcción
Parte de	ALTA CONCENTRACION DE AGUA EN LA CORRIENTE  ALTA CONCENTRACION DE ALCANOS INFERIORES O DE ALQUENOS EN LA CORRIENTE	12) Alto nivel del agua en las cisternas de almacenamiento intermedio  13) Perturbación en los tubos de destilación antes del almacenamiento intermedio	El sumidero de agua se llena más rápidamente. Mayor posibilidad de que la fase del agua pase a la sección de reacción  Mayor presión del sistema	n) Organizar un drenaje frecuente del agua de la cisterna de almacenamiento intermedio. Instalar un sistema de alarma alta en el nivel de interfase en el sumidero o) Verificar que el diseño del depósito de sedimentación y las tuberías conexas, incluida la calibración de la válvula de seguridad, podrán hacer frente a una súbita entrada de hidrocarburos más volátiles
Distinto de	MANTENIMIENTO	14) Fallo del equipo, escape de las bridas, etc	El conducto no puede drenarse o limpiarse completamente	p) Establecer un drenaje bajo y una unidad de depuración de N <sub>2</sub> antes de la válvula del conducto de comunicación. También dar salida al N <sub>2</sub> en el depósito de sedimentación

Nota. No se pusieron de manifiesto riesgos de accidente, del examen de PRESION INVERSA o MENOR