

NTP 446: Fallo de componentes: válvulas



Components failure: valves
Défaillance des composants: valves

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones	
Válida			
ANÁLISIS			
Criterios legales		Criterios técnicos	
Derogados:	Vigentes:	Desfasados:	Operativos: SI

Redactora:

Blanca Rius Sabador
Licenciada en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Introducción

Los accidentes que ocurren en la industria de proceso, en plantas de almacenaje o en el transporte de sustancias peligrosas, pueden ser debidos tanto a fallos materiales como humanos, organizativos o ambientales.

En esta NTP se presenta un análisis estadístico de accidentes producidos por fallos de componentes en la industria, y especialmente de los que son consecuencia de fallos en válvulas de regulación y control, ya sean manuales o automáticas. Se referencian también algunos accidentes reales en los que se detalla cuál fue la causa que indujo el fallo de la válvula en cada caso, por tratarse de situaciones frecuentes que por su carácter aleccionador puede ser provechoso conocerlas.

Las bases de datos que han sido consultadas para la realización del estudio estadístico, son:

- MARS (Major Accident Reporting System) es una base de datos de accidentes mayores establecida por la Comisión Europea como forma de implementar la Directiva Seveso (82/501/CEE). Las autoridades competentes de cada estado miembro notifican al registro establecido los accidentes mayores ocurridos, que a finales de 1997, son aproximadamente 200.
- MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service) es una base de datos desarrollada en nombre del Major Hazards Assessment Unit of the United Kingdom Health and Safety Executive (Unidad de Valoración de Riesgos Mayores de la Ejecutiva de Seguridad y Salud del Reino Unido).

También se ha considerado la base documental de accidentes graves de origen químico estudiados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo en su Centro de Barcelona.

Fallos de componentes

Cualquier elemento que forme parte de una instalación puede fallar bajo unas condiciones de trabajo determinadas, descontrolándose la operación y pudiéndose producir algún tipo de accidente.

Equipos principales y maquinaria

En equipos principales como columnas de destilación, tanques de almacenaje y reactores, los modos de fallo más comunes son la corrosión interna, el desgaste, las grietas o la rotura de soldaduras y la sobrepresión. En tuberías, los fallos se producen generalmente por conexiones defectuosas, corrosión (tanto interna como externa), obstrucciones, roturas o debilitamiento, ya sea por vibraciones o por tensiones cíclicas.

El estudio estadístico realizado (Tabla 1) indica que el mayor porcentaje de accidentes con implicación de equipos principales o maquinaria, pertenece a los tanques de almacenaje y a las tuberías fijas. Debe tenerse en cuenta que el número de depósitos y de tuberías que existen en una planta es mucho mayor que el que puede haber, por ejemplo, de columnas de destilación, hornos o intercambiadores de calor, por lo que el número de accidentes producidos por los primeros o en los que han estado implicados es mucho más elevado, observándose porcentajes considerables de accidentabilidad.

TABLA 1. Grado de implicación de equipos en accidentes graves de origen químico

Tanques de almacenaje	39%
Tuberías fijas	39%
Reactores	9%
Hornos	4%
Intercambiadores de calor	2%
Bombas	2%
Compresores	1%
Gasómetros, condensadores, evaporadores, vaporizadores, centrifugadoras, agitadores...	4%

Fuentes: MHIDAS y MARS

Instalaciones auxiliares

En instalaciones auxiliares, es decir, aquellas que realizan su función sirviendo a las principales, el mayor número de accidentes se produce en tuberías flexibles de carga y descarga, a causa principalmente de fallos de conexión con el equipo correspondiente. En la Tabla 2 se presentan las instalaciones auxiliares con un porcentaje significativo de accidentabilidad. Se puede observar en esta tabla que el sistema eléctrico también provoca un gran porcentaje de fallos en las instalaciones a causa de cortocircuitos y cortes del suministro.

TABLA 2. Grado de implicación de instalaciones auxiliares en accidentes graves de origen químico

Tuberías carga/descarga	65%
Sistema eléctrico	34%
Suministro nitrógeno	1%

Fuentes: MHIDAS y MARS

Elementos de regulación y control

El mayor porcentaje de accidentes entre los causados por fallos en elementos de regulación y control corresponde a las válvulas, ya sean manuales o automáticas, como se muestra en la Tabla 3. Los modos de fallo de estos componentes se analizan en este documento, dada la importancia y el gran número de estas válvulas que existen tanto en la industria de proceso como en plantas de almacenaje.

TABLA 3. Grado de implicación de elementos de regulación y control en accidentes graves de origen químico

Válvulas manuales/automáticas	91%
Indicadores/Reguladores	6%
Válvulas de drenaje/purga	2%
Sala de control	1%

Fuentes: MHIDAS y MARS

Los fallos de válvulas incluidas en bucles de control o en sistemas de regulación de presión, temperatura, nivel o caudal, se incluyen estadísticamente dentro del grupo de fallos de indicadores y reguladores, pues su mal funcionamiento implica a todo el sistema en su conjunto. El error en la transmisión de la señal, ya sea eléctrica o neumática, es otro tipo común de fallo en los sistemas de indicadores o de reguladores.

Las válvulas de drenaje y purga también se tienen en cuenta aparte, pues sus características y funciones son claramente diferentes del resto de válvulas consideradas.

Por último, cabe mencionar que los fallos más comunes que ocurren en sala de control y que son causa del porcentaje de accidentes que se muestra en la Tabla 3 son, principalmente, falsas indicaciones y errores en el sistema de control remoto.

Elementos específicos de seguridad

Los elementos específicos de seguridad pueden originar un accidente tanto si al ser necesaria su actuación no llevan a cabo la función para la que han sido diseñados, como si al realizarla se produce un fallo y no puede completarse satisfactoriamente.

Del grupo de elementos de seguridad el más utilizado es la válvula de seguridad (válvula de alivio de presión), por lo que de los accidentes ocasionados por el fallo de alguno de estos componentes el mayor número corresponde al fallo de estas válvulas (Tabla 4). Los tipos de accidente que se producen al fallar una válvula de alivio de presión suelen ser explosiones y escapes, generalmente por bloqueos o aperturas descontroladas de las válvulas.

TABLA 4. Grado de implicación de elementos de seguridad en accidentes graves de origen químico

Válvulas de seguridad	83%
Alarmas	8%
Discos de ruptura	5%
Detectores de gases	4%

Fuentes: MHIDAS y MARS

En la Tabla 5 se presenta el porcentaje de accidentes en los que han estado implicados cada uno de los cuatro grupos de componentes que se han especificado con anterioridad. Se observa que el número de accidentes con la implicación de equipos principales (donde también se incluyen las tuberías) es el mayor, pero debe tenerse en cuenta que en algunos de los accidentes incluidos en este grupo no se ha podido conocer cuál fue la causa de su fallo y que, por tanto, el accidente se ha introducido como propio del equipo aunque pudiera ser debido a algún otro componente (elemento de seguridad, de control...)

TABLA 5. Grado de implicación de componentes en accidentes graves de origen químico

Equipos principales y maquinaria	75%
Elementos de regulación y control	18%
Instalaciones auxiliares	5%
Elementos de seguridad	2%

Fuentes: MHIDAS y MARS

La Tabla 6 muestra una estadística general de las principales fuentes de origen de los accidentes en la industria química. En este caso no se indica el porcentaje dentro de un grupo específico de componentes, sino el tanto por ciento al tener en cuenta el conjunto global de todos ellos.

Tabla 6. Distribución porcentual general de accidentes graves de origen químico

Tanques almacenaje	29%
Tuberías fijas	29%
Válvulas manuales/automáticas	16%
Reactores	7%
Tuberías carga/descarga	3%
Válvulas de seguridad	2%
Sistema eléctrico	2%
Indicadores/Reguladores	1%
Otros	11%

Fuentes: MHIDAS y MARS

Válvulas, modos de fallo y accidentes tipo

El término modo de fallo se utiliza para hacer referencia a las distintas formas en que un componente de una instalación puede fallar. Un componente puede tener uno o varios modos de fallo.

Es imprescindible que los usuarios de componentes con funciones de seguridad, conozcan los diferentes modos de fallo de los mismos, con el objetivo de poder adoptar las debidas medidas de control para evitar que éstos sucedan y en todo caso minimizar sus consecuencias. Los fabricantes deberían suministrar información precisa sobre los modos de fallo y su probabilidad de acontecimiento

en las condiciones de trabajo en las que los componentes han de actuar.

El fallo de una válvula puede provocar diferentes tipos de accidentes, como escapes de líquidos o gases causados por un fallo de la junta de estanqueidad, por la rotura o por el bloqueo de la válvula; reacciones incontroladas o explosiones si el cierre de la válvula es defectuoso (no estanco) y permite el paso de un fluido a un equipo determinado de la instalación, cuando no es debido. Este tipo de accidente también puede producirse a causa de una inversión del sentido del flujo, que puede ser consecuencia del fallo de una válvula antirretorno.

A continuación se detallan cada uno de los modos de fallo de válvulas que se han considerado en el análisis realizado, y para cada uno de ellos se presentan ejemplos de accidentes típicos ocurridos en la industria, como consecuencia principalmente del fallo de la válvula. Se indica también la causa del fallo y el tipo de accidente que se produjo.

Fallo por falta de estanqueidad

Características de los accidentes

Se considera cuando la válvula tiene una fuga y provoca la pérdida del producto que pasa por ella. La falta de estanqueidad suele ser debida a la corrosión o debilitamiento de los materiales, a un diseño inadecuado o a la falta de mantenimiento y control de estos elementos.

Tanto los prensaestopas como las juntas de estanqueidad en las bridas de conexión deben ser cuidadosamente seleccionados y revisados. Tras una desconexión, la junta de estanqueidad debe sustituirse siempre, aunque aparentemente esté en buen estado.

La formación de nubes de gases tóxicos y/o corrosivos es el tipo de accidente generado por la falta de estanqueidad de una válvula, que suele ocasionar mayores daños personales.

Descripción de accidentes tipo

A causa de la fuga en una válvula afectada por corrosión, desde una planta se vertieron a un río 4000 litros de ácido clorhídrico concentrado. Los efectos del ácido fueron reducidos debido al alto nivel del río.

- Modo de fallo: falta de estanqueidad
- Causa de fallo: corrosión interna
- Tipo de accidente: escape de un líquido tóxico y corrosivo

En una planta de producción de cloruro de vinilo monómero, falló la válvula de un filtro en la línea del monómero. El informe del equipo de peritaje señaló que el operador dañó la válvula al apretarla (hermetificarla) con una herramienta no autorizada.

- Modo de fallo: falta de estanqueidad
- Causa de fallo: factor humano. Incumplimiento de procedimientos
- Tipo de accidente: escape de sustancia tóxica e inflamable, fuego

Fallo en operación

Características de los accidentes

Se producen durante el funcionamiento normal de la instalación y se consideran aquellos que no permiten que se ejecute la función propia de la válvula. Se incluyen en este modo de fallo:

- Bloqueo de la válvula
- Obstrucción de la sección de paso de la válvula
- Cierre defectuoso que permite el paso de fluido cuando el cierre tendría que ser estanco
- Actuaciones incontroladas, como apertura o cierre por vibraciones, por sobrepresiones...

Se pueden producir reacciones incontroladas si, a causa del cierre defectuoso de una válvula, se permite el paso de un fluido indebido a un reactor, a un horno, etc.

Si se requiere un cierre estanco, las válvulas de mariposa no son las más indicadas pues, aunque la pérdida de carga que provocan a su paso es pequeña y son económicas para grandes diámetros, su principal defecto es el cierre no hermético, por lo que se evita instalarlas para servicios todo-nada. Este tipo de válvulas son buenas para el bloqueo en servicios de baja presión, no críticos, como el manejo de agua y aire. Como válvulas de regulación se pueden utilizar a partir de diámetros de 150 milímetros.

Si el cierre es defectuoso también es común que si la válvula comunica la conducción con el exterior se produzcan, o bien fugas de sustancias volátiles que se difunden en el entorno ambiental y si son tóxicas pueden afectar a personas no necesariamente próximas a las instalaciones, o bien derrames de líquidos que podrían contaminar el suelo o los cauces fluviales.

La **obstrucción** de una válvula puede provocar un cierre incompleto de la misma que permita, aunque no se desee, el paso de fluido a través de ella. En el caso de una obstrucción total, al fluido le puede quedar completamente impedido el paso a través de la válvula, aunque ésta haya recibido la orden de apertura.

Las válvulas cónicas o de aguja son válvulas de regulación cuyo diseño sólo es factible para tamaños muy pequeños. El diámetro de abertura es muy reducido, proporcionando gran pérdida de presión al fluido que la atraviesa y un gran riesgo de obstrucción debido al posible arrastre de sólidos.

Las válvulas de compuerta han generado tradicionalmente dificultades en el cierre por obstrucciones debidas a la sedimentación de sólidos en el canal de ajuste. Este problema, en la actualidad ha sido resuelto mediante un mejor diseño del cuerpo de la válvula y el recubrimiento de elastómero en la propia compuerta.

Una de las causas más frecuentes del bloqueo de válvulas es la formación de hielo. El mecanismo de accionamiento de la válvula queda agarrotado por la congelación, no pudiendo accionarse cuando es necesario. El bloqueo puede ser ocasionado también por la polimerización de fluidos. En las válvulas de bola, el área que rodea la esfera, entre los asientos, se encuentra siempre expuesta al fluido del proceso porque, en la posición de cierre, el canal a través de la esfera está abierto hacia la cavidad del cuerpo de la válvula, pudiendo quedar ésta agarrotada en el caso de producirse polimerización.

Descripción de accidentes tipo

Desde una planta de proceso se vertieron a un río 3600 kg, aproximadamente, de cloruro de metileno. Se cree que la fuga tuvo que ser originada por vibraciones en las proximidades, que ocasionaron que la válvula de la línea abriera ligeramente.

- Modo de fallo: fallo en operación
- Causa de fallo: cierre defectuoso (vibraciones)
- Tipo de accidente: escape de un líquido tóxico

La válvula antirretorno en la línea que une la descarga de un camión cisterna con un tanque de almacenamiento de óxido de etileno, se encontraba en mantenimiento. Las válvulas de aislamiento (del camión y del tanque) fueron cerradas por el operador. El cierre defectuoso de una de éstas debido a la formación de un polímero frío de óxido de etileno ocasionó que el óxido de etileno fugase cuando la válvula antirretorno fue desmantelada. Una alarma del detector de gas sonó y fue activado el pulverizador de agua.

- Modo de fallo: fallo en operación
- Causa de fallo: obstrucción válvula (por formación de polímero)
- Tipo de accidente: escape de sustancia tóxica e inflamable

Una válvula obstruida ocasionó que pudiera retroceder aire hasta un tanque que mezclaba butadieno para la producción de resina. La mezcla explosiva encontró un foco de ignición y se produjo un incendio.

- Modo de fallo: fallo en operación
- Causa de fallo: obstrucción válvula
- Tipo de accidente: explosión y fuego

Las válvulas de salida de un tanque no pudieron ser cerradas debido a la acción del hielo. Se escaparon 20000 litros de queroseno, de los cuales 6500 empaparon y contaminaron el suelo.

- Modo de fallo: fallo en operación
- Causa de fallo: bloqueo válvula (por formación de hielo)
- Tipo de accidente: escape de sustancia inflamable y formación de charco.

Rotura

Características de los accidentes

Se consideran los accidentes que han sido provocados por la rotura de una válvula. El debilitamiento de las válvulas a causa de la corrosión o las vibraciones, puede provocar su rotura, así como golpes con carretillas, grúas u otros equipos móviles que pueden generar impactos contundentes.

Descripción de accidentes tipo

La válvula de una tubería subterránea de 10 pulgadas que conectaba una unidad de alquilación con esferas de almacenaje, sufrió corrosión al fugar ácido sulfúrico hacia el foso abierto lleno de agua de lluvia. La válvula se rompió cuando un operario intentó limpiar la línea con agua a alta presión.

- Modo de fallo: rotura
- Causa de fallo: corrosión externa
- Tipo de accidente: explosión y fuego

Un palet (plataforma para el manejo de mercancías) en una carretilla de horquilla elevadora cayó y fracturó una válvula. Del tanque de almacenaje se desprendió amoníaco.

- Modo de fallo: rotura
- Causa de fallo: impacto
- Tipo de accidente: escape de líquido y formación de nube de gas tóxico e inflamable

Fallo a demanda

Características de los accidentes

Este modo de fallo consiste en la falta de respuesta de la válvula cuando recibe la orden de apertura o cierre. Así, se incluyen los accidentes causados por fallo al cierre a demanda y fallo a la apertura a demanda. La falta de respuesta frente a la demanda puede ser debida tanto a un fallo mecánico, a un fallo de transmisión de la señal o bien a alteraciones de las condiciones del sistema, como sobrepresiones, etc.

Descripción de accidente tipo

Accidente en la línea de alimentación de un reactor.

Se produjo un fallo inicial en la válvula automática de control de flujo, la cual permanecía excesivamente abierta. Por ello se generó un aumento de temperatura en el reactor. Al alcanzarse una temperatura límite, la instrucción de cierre automático de la válvula de bloqueo no pudo materializarse, al ser excesiva la sobrepresión que generaba el paso del flujo. El proceso químico se descontroló.

- Válvula de bloqueo
- Modo de fallo: fallo a demanda
- Causa de fallo: sobrepresión
- Tipo de accidente: explosión física

Inversión de flujo

Características de los accidentes

Las válvulas antirretorno se utilizan para impedir el flujo inverso en los sistemas de tuberías. Cuando el fluido está pasando a través de la válvula, ésta se mantiene abierta. Si la velocidad del fluido se acerca a cero o si se invierte el sentido del flujo, la válvula cierra. En el caso de que la válvula fallara y no cerrase podría producirse el accidente.

La fiabilidad de respuesta de estas válvulas es muy limitada.

Descripción de accidente tipo

Un reactor para la obtención de etanolamina disponía de líneas independientes de alimentación para cada reactivo (óxido de etileno y amoníaco). El óxido de etileno se almacenaba en un tanque y era enviado al reactor mediante una bomba impulsora, a la salida de la cual existía una válvula de seguridad que ante una presión excesiva se abría, interconectando la conducción con la de alimentación.

Se produjo un reflujo de amoníaco hacia la línea de óxido de etileno. Este reflujo consiguió pasar a través de diversas válvulas antirretorno de la línea de óxido de etileno. También logró remontar la bomba impelente del óxido a través de la interconexión de la válvula de escape de seguridad. Al llegar al tanque de almacenaje del óxido de etileno, el amoníaco reaccionó con 30 m³ de este producto.

Se produjo la ruptura violenta del tanque y la explosión de la nube de vapor formada.

- Modo de fallo: inversión del flujo
- Causa de fallo: válvulas antirretorno como insuficiente sistema de seguridad
- Tipo de accidente: formación de nube de vapor y explosión

En la Tabla 7 se presenta el porcentaje de accidentes que se producen como consecuencia de cada uno de los modos de fallo en válvulas especificados anteriormente.

TABLA 7. Porcentaje accidentes según el modo de fallo de válvulas

Fallo por falta de estanqueidad	47%
Fallo en operación	26%
Rotura	18%
Fallo a demanda	6%
Inversión de flujo	3%

Fuentes: MHIDAS y MARS

Selección de válvulas. Importancia de la prevención

Para seleccionar la válvula más apropiada para un servicio determinado, debe examinarse cada operación que la válvula deberá realizar y las condiciones bajo las cuales llevará a cabo su función. Principalmente debe tenerse en cuenta:

- Temperatura de diseño
- Presión de diseño
- Necesidades de control y márgenes de maniobra
- Caída de presión admisible
- Naturaleza corrosiva del fluido
- Posibilidades de erosión
- Posibilidades de ensuciamiento o incrustación
- Peligro de fugas
- Conservación del calor

Para válvulas de control en servicios vitales o peligrosos, una selección deficiente puede conducir a:

- Primer coste excesivamente alto
- Coste alto de mantenimiento
- Tiempo improductivo (por avería o arreglo)
- Fugas
- Ejecución deficiente de su función
- Vibraciones peligrosas
- Ruido excesivo

Cuando el fluido de proceso presenta una situación especial, como la de tratarse de materia letal o nociva, de un producto extremadamente valioso o bien de un producto de baja viscosidad (como hidrógeno, refrigerantes o fluidos cambiadores de calor), las fugas a la atmósfera son especialmente problemáticas.

Las fugas en válvulas suelen ser resultado de la erosión, la corrosión o del fallo de las juntas de estanqueidad, empaquetamientos o empernados. Así, el material de construcción para una válvula se encuentra limitado por la naturaleza corrosiva y de erosión del fluido que se maneja, como también lo está por las temperaturas y presiones de diseño.

El mantenimiento de las válvulas es esencial para evitar su excesivo deterioro. En válvulas manuales que se encuentren integradas en un proceso continuo, donde existen menos fluctuaciones y el rendimiento de las válvulas es mayor, una inspección visual periódica puede ser suficiente, en cambio, las válvulas automáticas generalmente se encuentran más sometidas al desgaste, por lo que deben desmontarse y revisarse con mayor frecuencia.

Uno de los tipos de válvula más utilizados para el servicio todo-nada es la válvula de bola. Actualmente existe la tendencia a instalar estas válvulas soldadas a la tubería, con lo que quedan como parte integrada de ésta, evitándose así tanto la inclusión de bridas como, sobre todo, las fugas de producto a la atmósfera que podrían darse a través de ellas.

Las válvulas de compuerta con diámetros de 2 pulgadas o mayores son normalmente embridadas, aunque también se usan con extremos para soldarlas a la tubería. En las válvulas de asiento pueden evitarse fugas a través de la empaquetadura instalando el asiento de una aleación blanda de plomo que se acopla mejor con el obturador.

Erosión

La erosión se localiza siempre en puntos en los que la velocidad de impacto es alta. El daño producido por la erosión puede reducirse seleccionando la válvula adecuada para cada servicio, con:

- Sección de paso grande y sin estrangulamientos
- Sección de paso lisa, con pocas irregularidades
- Los mínimos giros del fluido posibles
- La superficie del asiento y del obturador endurecida

En algunos casos, el daño más grave puede reducirse variando las condiciones de operación, por ejemplo cambiando una bomba impulsora si está provocando altas presiones de forma innecesaria. Para combatir la erosión más fuerte (especialmente debida a fangos), las válvulas de diafragma y las de apriete son las más indicadas.

Corrosión

La corrosión, generalmente ocasionada por el ataque de una sustancia química o impurezas, puede ser general o local. La corrosión general suele dar un deterioro bastante uniforme de toda la superficie, en cambio, la corrosión local implica un daño poco generalizado pero un ataque local severo, normalmente en puntos de la superficie con imperfecciones o con fatiga.

La mejor forma de evitarla es seleccionar para la válvula la aleación más resistente o, en casos extremos, instalarla de cerámica, revestida de vidrio o con cuerpo entero de plástico. En cualquier caso, el material del que se construya la válvula debe resistir al agente corrosivo particular.

Las tablas de corrosión son útiles para una visión general de posibles materiales de construcción pero no aseguran una correcta selección para una aplicación particular. La resistencia a la corrosión de cualquier material puede estar afectada por trazas de diferentes sustancias, por eso el mejor método para escoger el material de la válvula es la toma de datos experimentales con muestras expuestas a los fluidos que realmente serán manejados bajo las condiciones de operación previstas.

Existen numerosas razones por las que una válvula puede inutilizarse por corrosión al contener un fluido; un caso habitual es que el

flujo de un gas esté previsto que sea seco y en cambio contenga pequeñas cantidades de líquido que causan la corrosión; también puede suceder que por un almacenaje inadecuado se dañen las válvulas, quedando los efectos escondidos hasta que la válvula se expone a las condiciones de operación.

Cuando el daño no es grave es posible reparar el cuerpo de la válvula, al menos provisionalmente, con una soldadura de metal o, para bajas presiones y temperaturas, con resinas epoxi.

Cavitación

La cavitación es un fenómeno que puede afectar a la eficiencia de las válvulas y que, dependiendo de su severidad, puede causar erosión, ruido excesivo o vibraciones peligrosas. Este fenómeno consiste en la formación y colapso de cavidades de vapor en un flujo de líquido. La cavidad de vapor puede formarse en cualquier lugar del flujo donde la presión local se reduce a la presión de vapor del líquido a la temperatura del líquido. En estos puntos una parte del líquido vaporiza y se forman burbujas o cavidades de vapor. El colapso de las burbujas empieza cuando se desplazan hacia regiones donde la presión local es mayor que la presión de vapor.

Como ningún material puede resistir el continuo golpeo de las burbujas que implosionan, la solución es evitar la formación del vapor de cavitación o bien, prevenir su implosión. Para ello, las características que debería tener la válvula son:

- Capacidad de recuperación de baja presión
- Un camino de descarga en el orificio que suponga la implosión del vapor de cavitación en medio de la corriente de flujo en lugar de hacerlo contra los límites de la conducción.
- Una abertura preparada para la libre descarga a un tanque u otro contenedor de líquido
- Una forma que permita la aspiración de gas no condensable y su mezcla con las burbujas de vapor, para la prevención de implosiones súbitas

De los tipos de válvula estándar, la válvula de globo con orificio de paso en forma de V permite la recuperación de presión más baja y es la menos susceptible a sufrir cavitación.

Las válvulas de mariposa y esféricas tienen una recuperación de presión desfavorablemente alta en largas aperturas, pero algunas tienen pasos de caudal que confinan las cavitaciones leves al centro de la corriente.

Las válvulas especiales anticavitación se caracterizan por múltiples y pequeños canales de flujo y pasos tortuosos.

Fiabilidad en válvulas. Tasas de fallo

Asumidos tanto los modos de fallo más frecuentes que pueden producirse en válvulas, manuales o automáticas, como los accidentes que pudieran ocasionarse como consecuencia de ellos, debe estudiarse su fiabilidad para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de estos elementos.

Para realizar el mantenimiento preventivo de las válvulas, se tendrá en cuenta su probabilidad de fallo, pues de esta manera podrá conocerse cuál es el momento más adecuado para revisarlas, evitando así llegar a una situación en la que la probabilidad de que ocurra el fallo sea elevada.

A continuación se definen los términos de fiabilidad y tasa de fallo, así como la utilidad que éste último dato tiene para llegar a conocer la probabilidad de fallo:

- Fiabilidad es la probabilidad de que un componente o dispositivo lleve a cabo una función definida en condiciones establecidas para un periodo de tiempo señalado.
- Tasa de fallo es la frecuencia con que se presentan los fallos en los componentes, es decir, el número de fallos que ocurren en un componente dividido por el tiempo transcurrido.

Una evaluación cuantitativa del riesgo de un acontecimiento indeseado mediante la aplicación del árbol de fallos y errores, precisa conocer la probabilidad de fallo o indisponibilidad de los sucesos básicos (representados en un círculo en el árbol) y determinar valores probabilísticos de fallo a los sucesos no desarrollados (representados por un rombo).

La probabilidad de fallo de un componente se calcula, en función del modo de fallo ocurrido, a partir de la tasa de fallo, que puede obtenerse principalmente de la experiencia, y de no tenerse se obtiene en bancos de datos como el del Institute of Chemical Engineers, la base de datos Reldat de AEA, el Offshore Reliability Data (OREDA-84), etc.

Según el mecanismo de operación de las válvulas, suelen producirse diferentes modos de fallo, y cada uno de estos modos de fallo sucede con la frecuencia que indica su tasa de fallo (λ).

En la tabla 8 se presentan diferentes tipos de válvulas en función de su mecanismo de actuación, algunos modos de fallo que suelen afectarlas y la tasa de fallo media estimada.

TABLA 8. Tasas de fallo según el mecanismo de operación en válvulas

MECANISMO DE OPERACIÓN DE LA VÁLVULA	MODO DE FALLO	TASA DE FALLO (λ)
Válvulas de control automático	Fallo al cierre (queda abierta)	0,3/año
	Fallo a la apertura (queda cerrada. Bloqueo)	0,3/año
	Fuga externa (empaquetamiento)	0,3/año
Válvulas motorizadas	Fallo a demanda	0,001/demanda
	Bloqueo	0,0001/demanda
	Fuga externa o rotura	10^{-8} /h
Válvulas solenoide	Fallo a demanda	0,3/año
	Bloqueo	0,3/año
Válvulas manuales	Bloqueo	0,1/año
	Agarrotamiento	0,1/año
	Fuga	0,1/año

Fuentes: Risk analysis (Rijnmond public authority)

Considerando el tipo de válvula específico, se presenta también la Tabla 9 dónde se muestra para cada tipo de válvula y su forma de actuación, las tasas de fallo encontradas en la bibliografía especializada en el caso en que el modo de fallo es el fallo en operación.

TABLA 9. Tasas de fallo en válvulas. modo de fallo: fallo en operación

TIPO DE VÁLVULA	MÉTODO DE ACTUACIÓN	FUNCIÓN	TASA DE FALLO (λ año ⁻¹)
Válvulas de globo	Solenoide	Aislamiento/Cierre	0,00285
	Neumático	Control/Regulación	0,201-0,447
	Manual	Aislamiento/Cierre	0,038-0,192
Válvulas de diafragma	Neumático	Aislamiento/Cierre	0,022
	Neumático	Control/Regulación	0,1
	Manual	Aislamiento/Cierre	0,006-0,019
Válvulas de mariposa	Neumático	Control/Regulación	0,33
Válvulas obturadoras y esféricas	Neumático	Aislamiento/Cierre	0,0293-0,088
Válvulas obturadoras y de aguja	Manual	Aislamiento/Cierre	0,066
Válvulas de compuerta	Manual	Aislamiento/Cierre	0,005-0,077
	Manual	Control/Regulación	0,012-0,13
	Motor, rotación eléctrica	-	0,171
Válvulas de retención	Dinámico, sensitivo, autoactuación	Antirretorno/Retención	0,041-0,088

Fuentes: Base de datos Reldat

Bibliografía

(1) COOK, D.T.
Selecting handoperated valves
 Chemical Engineering, Junio 1989, vol.89, nº12, 126140

(2) CREUS, A.

Fiabilidad y seguridad. Su aplicación en procesos industriales
 Marcombo Boixareu editores, Barcelona 1992

(3) DRISKELL, L.
Select the right control valve for difficult service
 Chemical Engineering, Agosto 1987, vol.94, nº11, 123127

(4) DROGARIS, G. MARS
Major Accident Reporting System. Lessons learned from accidents notified.
Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam (Holanda) 1993

(5) LANGFORD, C.G.
Installing, maintaining and troubleshooting control valves
Chemical Engineering, Sept.1983, vol.90, nº18, 101103

(6) MAJOR HAZARDS ASSESSMENT UNIT OF THE UNITED KINGDOM HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE
MHIDAS Major Hazard Incident Data Service

(7) RIJNMOND PUBLIC AUTHORITY
Risk Analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study
D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Holanda)1982

Nuestro agradecimiento a los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales y de Mantenimiento de la empresa COURTEAULD ESPAÑA, S.A. de El Prat de Llobregat por la información suministrada