



ARTÍCULO TÉCNICO

Diseño de sistemas de alivio de presión de emergencia

Autor: Arturo Trujillo Ventura, Director Global de Asesoramiento de Seguridad de Procesos

Un sistema de alivio de presión de emergencia es la Base de Seguridad o capa de protección más utilizada para protegerse contra la sobrepresión en las industrias química, farmacéutica y relacionadas. El sistema proporciona protección a reactores, depósitos de almacenamiento, columnas, secadores y otros equipos de proceso. Si se diseña y se opera correctamente, dicho sistema puede resultar económico al tiempo que fiable.

La especificación correcta, el mantenimiento de la operación y la inspección del sistema de alivio de presión de emergencia son vitales para la seguridad laboral y medioambiental. No obstante, se siguen produciendo incidentes que obligan a analizar los fallos más comunes durante el ciclo de vida del sistema.

1. Consideraciones preliminares

Un sistema de alivio de emergencia debe diseñarse específicamente para un proceso e instalación particular; si un ingeniero externo o un proveedor de equipos diseñan un sistema de tamaño “estándar”, por lo general, este no será adecuado, salvo que se evalúen exhaustivamente todas las características del proceso en cuestión. El diseño debe tener en cuenta todas las condiciones de fallo

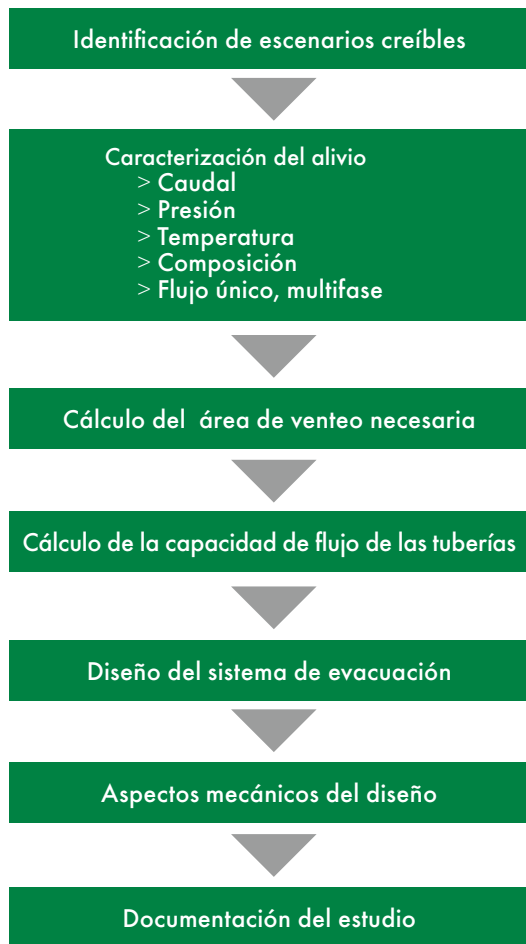
creibles, incluyendo las reacciones fuera de control, la descomposición térmica, la exposición al fuego y las incidencias de sobrepresión por causas físicas (salidas bloqueadas, fallo de los sistemas de control, fallo eléctrico, expansión térmica de líquidos bloqueados...). En general, la actuación de un sistema de venteo de emergencia provocará una emisión discontinua y bifásica desde el dispositivo de alivio; las características de esta emisión deberán tenerse en cuenta para su tratamiento medio ambiental posterior. La construcción mecánica del recipiente y la válvula de alivio de presión, así como las tuberías de interconexión deben tener en cuenta las fuerzas de reacción que conlleva el venteo de emergencia. Todo este proceso de diseño requiere un enfoque estructurado para analizar fiablemente los requisitos del sistema y generar un dossier exhaustivo sobre el diseño.

La mayoría de empresas tienen sus propias normas de seguridad laboral, impacto medio ambiental y protección contra pérdidas. En otras palabras, la mayoría de empresas disponen de criterios corporativos que establecen el nivel de riesgo tolerable. Además, la protección de los recipientes contra una posible sobrepresión está contemplada en la legislación y en los estándares de ingeniería. A su vez, las autoridades suelen exigir se instalen sistemas de alivio de

presión de emergencia para proporcionar un grado de protección adecuado, aunque técnicamente se pueden emplear otras modalidades de protección (p. ej., sistemas de seguridad instrumentados conforme a la norma IEC61508/11).

2. Proceso de diseño

Los métodos de última generación para el diseño de sistemas de alivio se basan en el trabajo del DIERS (Design Institute for Emergency Relief Systems) y en las investigaciones de apoyo que se derivan del mismo. El siguiente esquema resume los principales pasos de un proceso de diseño de sistema de alivio de emergencia:



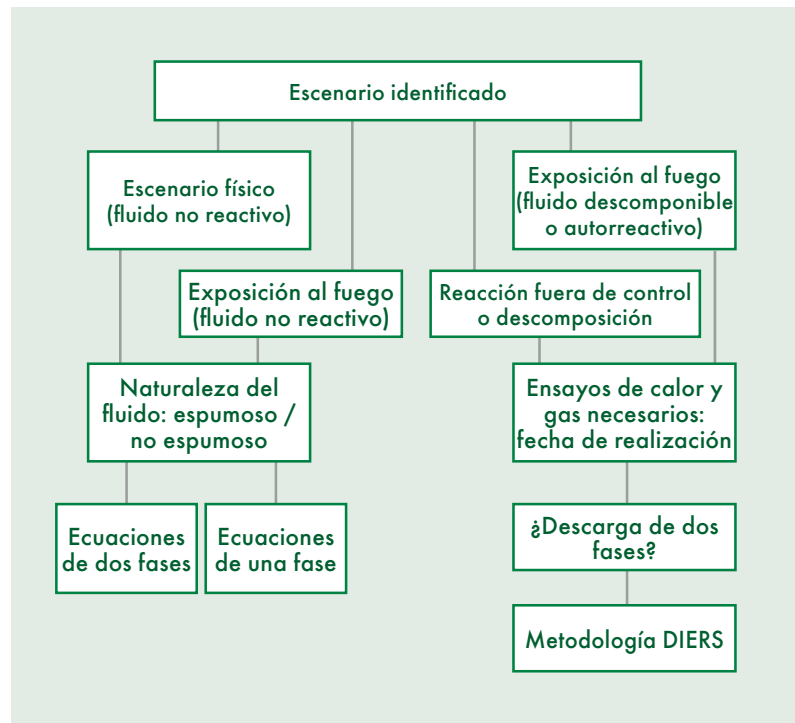
2.1. Identificación de escenarios creíbles

Algunos escenarios genéricos de alivio (p. ej., exposición al fuego) pueden identificarse enseguida, sencillamente realizando una inspección de los diagramas de proceso o empleando las listas de verificación que ofrecen los estándares de ingeniería, como API 520 o ISO 4126. Sin embargo, dichos enfoques estándar pueden pasar por alto algunos escenarios (principalmente los relacionados con

las desviaciones del proceso, las reacciones fuera de control...) o pueden proteger contra incidencias sumamente improbables. Por todo ello, en la mayoría de los casos, la identificación del peor escenario creíble exige un análisis de riesgos formal basado en los métodos disponibles: HAZID, HAZOP

2.2. Caracterización del escenario y cálculo de la zona de escape necesaria

El siguiente esquema resume el flujo de trabajo necesario para caracterizar el escenario y calcular la sección de alivio necesaria para cada uno de los escenarios identificados:



En los sistemas reactivos suele suceder que el peor escenario (es decir, el de mayor caudal) es el único que debe caracterizarse. Sin embargo, si hay otros escenarios con caudales significativamente menores y el sistema va a protegerse con una válvula de seguridad, deben tenerse en cuenta todos los escenarios. El dimensionamiento de una válvula de seguridad para el peor escenario puede conllevar vibraciones (y daños a corto plazo) en la válvula durante las incidencias menos graves. A menudo es necesario diseñar dos dispositivos distintos: uno (por ejemplo, un disco de ruptura) para el peor escenario y otro (una válvula de seguridad) para los casos menos graves. En cualquier caso, siempre resulta conveniente identificar y documentar todos los escenarios en un dossier de alivio de presión para poder consultarlo en el futuro y poder gestionar los cambios.

2.2.1 Sistemas reactivos

La caracterización del escenario cobra una importancia crítica cuando interviene una reacción química. En el caso de las reacciones exotérmicas o las descomposiciones térmicas, la falta de control suele conllevar una reacción autoacelerada y, en consecuencia, un incremento exponencial de la velocidad de liberación de calor.

Si uno de los productos de la reacción es un gas, como suele suceder en las descomposiciones, provocará el aumento de la presión de un recipiente cerrado; del mismo modo, con el aumento de la temperatura, la **presión del vapor disolvente** también se incrementará. Para realizar los cálculos, es importante saber distinguir el modo dominante de generación de presión y evaluar su velocidad. Cuando la válvula de alivio se abre, la descarga suele ser un fluido multifase, con una alta proporción de líquido acompañando al vapor o el gas y, posiblemente, también sólidos. Algunos sistemas seguirán liberando vapor durante el alivio, mientras los materiales espumosos se descargarán en dos fases a lo largo del periodo de vaciado, a menudo vaciando el depósito por completo. Debemos conocer estas características para aplicar el método de cálculo adecuado. A medida que disminuye la presión en la válvula, la fase de gas se expande y la fase de líquido saturado se convertirá en vapor, cosa que, a menudo, conlleva una obstrucción que reduce la capacidad de alivio. El proceso de cálculo debe reconocer y tener en cuenta ese comportamiento.

Aparte del enfoque directo de la metodología DIERS “estándar”, en determinadas situaciones industriales también se da una serie de casos más complejos. Entre ellos están los sistemas en los que los fluidos aumentan su viscosidad durante la reacción (p. ej., las polimerizaciones), los fluidos que contienen una alta proporción de sólidos, los fluidos con fases líquidas inmiscibles, los sistemas que tienen un alto grado de gas disuelto y aquellos en los que el disolvente está cerca de una condición termodinámica crítica. Esos casos son más complejos y exigen un enfoque más detallado, así como datos adicionales.

2.2.2. Sistemas no reactivos

Aunque el proceso no incluya **reacciones químicas**, hay que determinar si la descarga debe ser de una o dos fases y aplicar los métodos de cálculo adecuados. Los enfoques estándar suelen ser muy conservadores y basarse en criterios de riesgos tolerables que, quizás, no coincidan con los estándares corporativos. El uso de métodos de cálculo avanzados, como la simulación dinámica de procesos, permite un cálculo de escenarios basado en principios

técnicos y científicos fundamentados, y en los criterios detallados de riesgos tolerables. Huelga decir que este tipo de enfoque tiene un valor incalculable a la hora de recalcular las válvulas preexistentes durante proyectos de ampliación o de “debottlenecking”. Muy a menudo, el cálculo exacto de un escenario puede justificar no cambiar una válvula grande, con el ahorro de tiempo y dinero que ello conlleva.

2.3. Obtención de datos

Claro está, cualquier sistema de alivio de emergencia diseñado para incluir un evento exotérmico exige un mínimo de datos que permitan el cálculo necesario para el diseño. Dichos datos deben describir, en términos generales, las características cinéticas, termoquímicas y físicas bajo las condiciones de alivio. Ello se consigue realizando una calorimetría adiabática para simular el fallo y estudiar los siguientes parámetros:

- > La velocidad de auto-calentamiento y la generación de gas durante un proceso exotérmico provocado por una reacción fuera de control, una descomposición o un incendio (un aspecto cinético y termoquímico), obtenida a través de ensayos en celdas cerradas.
- > La presurización (presión de vapor o gas), obtenida a través de ensayos en celdas calentadas.
- > Las propiedades espumosas, obtenidas a través de ensayos de despresurización.
- > La viscosidad del fluido, obtenida a través de ensayos de despresurización.

No siempre necesitaremos todos esos ensayos; la elección de datos dependerá de la naturaleza de la química, los fluidos y las condiciones del recipiente.

2.4. Diseño del sistema de evacuación

El diseño no finaliza con el cálculo del caudal de descarga en fase única o multifase. Por motivos de seguridad y protección medioambiental, el material emitido debe tratarse para hacerlo inocuo. En casi contrario, no puede descartarse el riesgo de incidente secundario. Los sistemas de tratamiento posterior pueden incluir separadores líquido/vapor, antorchas, depuradoras o depósitos de separación de líquidos. El diseño de dichas unidades es importante, tanto para la efectividad de cada dispositivo como para la influencia que pueden ejercer en el rendimiento del sistema de alivio en su totalidad. Además, a menudo se exige demostrar

mediante cálculos de dispersión que, incluso en condiciones de dispersión adversas, las concentraciones peligrosas de sustancias no llegarán a las zonas ocupadas por personas.

Cuando se recojan en un único sistema de tratamiento las válvulas de alivio de varios recipientes, éste también debe someterse a una evaluación exhaustiva y un diseño meticuloso. Del mismo modo, las tuberías y depósitos deben tener un diseño mecánico adecuado para resistir las fuerzas de reacción que se producen durante el vaciado. En este caso, es importante definir criterios de simultaneidad; es decir, las condiciones en las que más de un dispositivo de alivio pueden activarse simultáneamente. Este punto también exige una gran comprensión del proceso. El uso de un enfoque demasiado simplificado puede conllevar un sistema que tenga exceso de ingeniería (y, por ende, costes innecesarios) al tiempo que ineficiente ante escenarios realistas.

2.5. Documentación

Redactar un dossier del sistema de alivio de emergencia puede parecer una labor meramente administrativa. Sin embargo, este documento constituye una parte importante de la información disponible sobre la seguridad de procesos de las instalaciones. Es necesario realizar un seguimiento de las hipótesis, la identificación de escenarios, los cálculos y las conclusiones. Cualquier cambio en las instalaciones deberá basarse en esa información para evitar el nuevo cálculo de los dispositivos o diseñar nuevos equipos con criterios distintos. Hoy en día, se suele sustituir los antiguos informes en papel por una base de datos informatizada.

2.6. Inspección y mantenimiento

La descripción anterior deja claro que el sistema de alivio de presión de emergencia de una planta será uno de los elementos críticos para la seguridad (SCE). Como tal, requiere un mantenimiento adecuado y una inspección periódica a lo largo de su ciclo de vida. Tradicionalmente, los proveedores de equipos han ofrecido recomendaciones sobre la frecuencia de la inspección y el mantenimiento. No obstante, puede que estas recomendaciones no se ajusten por completo a los criterios corporativos de tolerabilidad de riesgos. Durante los últimos años, el mantenimiento basado en

riesgos (RBM) y la inspección basada en riesgos (RBI) han demostrado ser la solución más adecuada. Dicho en términos sencillos, los programas de mantenimiento e inspección de equipos se correlacionan con la salvaguarda de riesgos del equipo: cuanto mayor es el riesgo, más estrictos son el mantenimiento y la inspección.

3. ¿Cómo puede ayudar DEKRA Process Safety?

En DEKRA Process Safety, contamos con un equipo de expertos con amplia experiencia en evaluaciones de dimensionamiento de válvulas de alivio de presión de emergencia. De hecho, el diseño que DEKRA Process Safety realizó de un sistema de alivio de presión que cubre varios recipientes en una planta que fabrica un producto pirofórico, incluyendo un depósito de contención del material vaciado, ganó el Premio de Seguridad y Medioambiente de la Institution of Chemical Engineers en 2001.

Ofrecemos asesoramiento en torno a todos los aspectos del diseño de sistemas de alivio de presión de emergencia. Sobre todo, podemos integrar la evaluación inicial de riesgo y la elección de escenarios de diseño con la generación de todos los datos necesarios en [nuestros laboratorios especializados](#).

Es decir, que estamos muy bien posicionados para interpretar los resultados en el contexto de su influencia en el diseño del sistema de alivio. Además, podemos diseñar instalaciones de tratamiento secundarias, proporcionar datos para realizar cálculos de ingeniería mecánica y ofrecer especificaciones completas de todo el sistema de alivio de emergencia. También podemos utilizar el RBM y la RBI para diseñar los programas de mantenimiento e inspección.

Por último, podemos acudir a su empresa para impartir cursos de formación en diseño de alivio de presión de emergencia conforme a sus necesidades particulares. [Nuestros cursos](#) abarcan todos los niveles, desde la concienciación hasta la obtención de competencias en ingeniería, mantenimiento e inspección.

Dado que somos una empresa externa independiente, DEKRA no está asociada con ningún proveedor. Por ello, nuestro asesoramiento se basa únicamente en principios técnicos.

¿Le gustaría obtener más información?

¡Póngase en contacto con nosotros!

EL DR. ARTURO TRUJILLO

El Dr. Arturo Trujillo es el Director General de Process Safety Consulting, la filial española de la división de seguridad de procesos de DEKRA. Se incorporó al grupo DEKRA en enero de 2012, después de veinticinco años en diversas compañías de consultoría e ingeniería. Su experiencia incluye diversos tipos de análisis de seguridad de procesos (HAZOP, What-if, HAZID...), análisis de consecuencias y análisis cuantitativos de riesgo. Ha facilitado más de doscientos HAZOPs durante los últimos veinticinco años, especialmente en los campos de refino, petroquímica, energía, química y farmacia. Está basado en Barcelona (España) y puede contactársele en arturo.trujillo@dekra.com.



DEKRA Process Safety

La amplitud y profundidad de nuestra experiencia en seguridad de procesos nos convierte en especialistas reconocidos a nivel mundial y en asesores de confianza en este ámbito. Ayudamos a nuestros clientes a comprender y evaluar sus riesgos, y trabajamos en conjunto para desarrollar soluciones pragmáticas. Nuestro enfoque práctico y de valor añadido integra la gestión de seguridad de procesos, la ingeniería y los ensayos especializados. Nuestro objetivo es educar y desarrollar la competencia de los clientes para proporcionar una mejora sostenible del rendimiento. Al asociarnos con nuestros clientes, combinamos nuestra experiencia técnica con la pasión por proteger a las personas y los activos, y reducir los daños. Como parte de DEKRA, la organización experta líder a nivel mundial, somos el socio global para un mundo más seguro.

Programas de gestión de la seguridad de procesos (PSM, por sus siglas en inglés)

- > Diseño y creación de programas PSM relevantes
- > Asistencia para la implementación, la monitorización y la sostenibilidad de los programas PSM
- > Auditoría de programas PSM existentes, comparándolos con las mejores prácticas de todo el mundo
- > Corrección y mejora de los programas deficientes

Información/datos sobre la seguridad de procesos (ensayos de laboratorio)

- > Propiedades de inflamabilidad/combustibilidad de polvos, gases, vapores, neblinas y atmósferas híbridas
- > Peligros de reacción química y optimización de los procesos químicos (reacción y calorimetría adiabática RC1, ARC, VSP, Dewar)
- > Inestabilidad térmica (ensayos específicos de DSC, DTA y polvo)
- > Materiales energéticos, explosivos, propulsores, pirotecnia conforme a los protocolos DOT, ONU, etc.
- > Ensayos reglamentarios: REACH, ONU, CLP, ADR, OSHA, DOT
- > Ensayos electrostáticos para polvos, líquidos, equipos de procesamiento, revestimientos, calzado, FIBC

Consultoría especializada (técnica/ingeniería)

- > Peligros de incendio y explosión por proyección de polvo, gas y vapor
- > Peligros, problemas y aplicaciones electrostáticos
- > Peligros químicos reactivos, de autocalentamiento e inestabilidad térmica
- > Clasificación de áreas peligrosas
- > Evaluación del riesgo de ignición de equipos mecánicos
- > Transporte y clasificación de mercancías peligrosas

Contamos con oficinas en Norteamérica, Europa y Asia.

Para obtener más información, visite www.dekra-process-safety.es

Contacto: process-safety@dekra.com