

50521
44



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**ELEMENTOS DE DISEÑO PARA EVITAR
FALLAS POR SOBREPRESION EN
INSTALACIONES INDUSTRIALES DE
PROCESO**

**REPORTE DE TITULACION POR
EXPERIENCIA PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A

ANGEL MARTINEZ FRANCISCO

A S E S O R :

M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

MARZO 2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mis padres:
Custodio Martínez Mariano
Isabel Francisco López, por
todos sus esfuerzos realizados.

A mis hermanas y hermanos:
Por su incondicional y constante apoyo
especialmente a "Calla" y "Ciriy".

A mis sinodales:
Por su profesionalismo consolidado
el cual ha contribuido a la implementación
de este trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/080/02

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: MARTINEZ FRANCISCO ANGEL
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	Dr. Roberto Mendoza Serna
Vocal:	M. en C. Andrés Aquino Canchola
Secretario:	I.Q. José Luis Macías Pérez
Suplente:	I.Q. Judith Ventura Cruz
Suplente:	M. en Q. Lucila Valdez Castro

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., 7 de Octubre de 2002

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

TEMA CON
FALLA DE ORIGEN

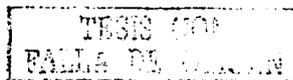
INDICE

INTRODUCCION.....	1
GENERALIDADES.....	5
CAPITULO 1.....	7
DETERMINACION DE LA PRESION DE DISEÑO	
1.1 Introducción	
1.2 Presión máxima de operación normal	
1.3 Presión de diseño mínima	
1.4 Equipo diseñado sin usar el código ASME	
1.5 Análisis del sistema	
1.6 Circuitos multiequipo	
1.7 Consideraciones de diseño para presión externa	
CAPITULO 2.....	18
CAUSAS DE EMERGENCIAS POR SOBREPRESION	
2.1 Introducción	
2.2 Casos de sobrepresión	
2.3 Requerimientos de protección	
CAPITULO 3.....	31
DIMENSIONAMIENTO	
3.1 Introducción	
3.2 Fuego externo	
3.3 Ruptura de tubos	
3.4 Expansión hidráulica	
3.5 Generadores de vapor	
3.6 Flujo crítico vs subcrítico	
3.7 Dimensionamiento para flujo crítico	
3.8 Dimensionamiento para flujo subcrítico	
3.9 Dimensionamiento para relevo de líquido	
3.10 Dimensionamiento para flujo a dos fases	
3.11 Dimensionamiento de la línea de entrada	
3.12 Dimensionamiento de la línea de descarga	
3.13 Discos de ruptura	
3.14 Fuerzas de reacción	

FALTA DE DATOS
NO SE PUEDE
DISEÑAR

INDICE (continuación)

CAPITULO 4	55
SELECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO	
4.1 Introducción	
4.2 Tipos de válvulas	
4.3 Especificación de la válvula	
4.4 Discos de ruptura	
CAPITULO 5	62
LOCALIZACIÓN E INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO	
5.1 Introducción	
5.2 Localización	
5.3 Entrada	
5.4 Descarga	
5.5 Válvulas de bloqueo	
5.6 Válvulas operadas por piloto	
5.7 Discos de ruptura	
CONCLUSIONES.....	67
ANEXO	69
REFERENCIAS.....	83



INTRODUCCION

WELSH CORN
P.O. Box 1000 - Reno

En la actualidad, la población en general, los clientes de las empresas, personal de la planta y las agencias reguladoras por parte del gobierno, demandan que las compañías tomen las acciones necesarias para reducir la posibilidad de que ocurran incidentes catastróficos en plantas industriales, causados por una sobrepresión en los equipos de las unidades de proceso.

Una revisión general de la industria química y del petróleo sugiere la necesidad de mejorar en el manejo de materiales y condiciones de proceso peligrosos.

Durante los proyectos para plantas industriales se debe estar seguro de que los requerimientos mínimos de seguridad se cumplan y que toda unidad de proceso este diseñada para lograr un funcionamiento seguro durante condiciones de emergencia que pondrían en riesgo a las instalaciones y al personal. Cualquier equipo o parte de una unidad de proceso que no se considere para que opere adecuadamente en una emergencia por sobrepresión y que no se le hayan especificado dispositivos de seguridad o que los dispositivos especificados sean inadecuados, podrían involucrar a la compañía y al ingeniero de diseño por negligencia. La seguridad del personal de operación y mantenimiento que labora cercano a los equipos dentro de una planta debe ser de primordial importancia.

El diseño económico para evitar una emergencia por sobrepresión significa la reducción de costos totales del equipo, los dispositivos de alivio y su sistema de descarga.

La experiencia ha demostrado que el proceso más económico, es el sistema formado por equipos diseñados con la menor presión de diseño. Sin embargo ocasionalmente se deben tomar consideraciones diferentes a la económica para especificar la presión de diseño de los equipos.

En los procedimientos de proyecto, deben mencionarse los requerimientos específicos de protección por sobrepresión, debido a que es necesario que el ingeniero de diseño identifique la localización de dispositivos de protección desde las primeras emisiones de los diagramas de tubería e instrumentación, tomando en cuenta que los cálculos de protección por sobrepresión deben incluir efectos de todos los escenarios de emergencia, aplicables o no, que pudieran causar una sobrepresión en las unidades de proceso.

En el presente trabajo se ha tomado de referencia los diferentes documentos estándares y prácticas de Ingeniería relacionados con el tema, estos documentos nos presentan casos de estudio un tanto individuales. Sin embargo el trabajo se ha desarrollado para considerar los elementos para la protección de una sobrepresión en las unidades industriales como el estudio de un sistema, y que de acuerdo a su localización y su función en un determinado proceso industrial, los equipos resultan parte importante en la determinación de las condiciones de diseño necesarias para otros equipos así como para la especificación de los dispositivos de protección en los sistemas de alivio.



El manejo, uso, procesamiento y almacenamiento de materiales con propiedades o condiciones de operación inherentemente peligrosas nunca puede hacerse sin la total ausencia de riesgo, es decir la seguridad de los procesos es una condición que se debe buscar involucrando la tecnología, materiales, personal y equipo que componen las instalaciones industriales, se debe asegurar que el diseño de las instalaciones siguen esa dirección y son operadas de la manera segura que se busca lograr.

Considerando lo anterior es indispensable tener un conocimiento profundo del proceso que se va a llevar a cabo en las instalaciones, para continuar con el diseño y especificación de los equipos de proceso y de los sistemas de protección de una emergencia causada por sobrepresión.

También es importante obtener la máxima y algunas veces una mínima temperatura de operación con la presión coincidente que se utiliza para determinar la temperatura de diseño de los equipos.

En general el diseño de los sistemas de alivio, los cuales forman parte de las unidades industriales y que tienen el objeto de prevenir una emergencia causada por sobrepresión, se basan principalmente en los siguientes códigos, estándares industriales, especificaciones, y prácticas recomendadas.

API RP 520 parte 1
API RP 520 parte 2
API RP 521
API RP estándar 2000
ASME B31.1
ASME B31.3
ASME Sección I
ASME Sección VIII

Para tratar la protección por causas de sobrepresión y de los sistemas de alivio en unidades industriales se presenta este trabajo. Se expone la importancia del tema en el diseño de las plantas de procesos industriales, se señala los aspectos implicados de una emergencia causada por una sobrepresión dentro de éstas unidades industriales.

En el capítulo uno se hacen las recomendaciones para la determinación de la presión de diseño de los equipos que forman parte de las instalaciones.

En el capítulo 2, se describen las causas principales que originan sobrepresión en un sistema, las cuales deben analizarse para determinar los flujos a relevar mediante los dispositivos de alivio. También se da una explicación del método de análisis y tipo de dispositivo de alivio que debe ser usado.

En el capítulo 3 se detallan los conceptos utilizados en el dimensionamiento de circuitos de flujo para las descargas de dispositivos de alivio, desde la tubería que se origina en la salida de éstos, a través de subcabezales/cabezales hasta los puntos de descarga, se supone que el sistema ha sido ya definido, ya sea como sistema abierto, parcialmente cerrado o cerrado con respecto a descargas a la atmósfera o hacia un quemador.

El capítulo 4 se refiere a la especificación y selección de los dispositivos de alivio que se determinan para cada situación específica de emergencia.

En el capítulo 5 se trata la instalación de los dispositivos de alivio previamente seleccionados. Se hacen las conclusiones generales para el presente trabajo.

En el anexo se presenta un caso de aplicación de los conceptos y metodología que se expusieron en los capítulos anteriores.

Finalmente se hace una lista de referencias bibliográficas relacionados con el tema.

GENERALIDADES

Para especificar la protección adecuada que considere las emergencias causadas por sobrepresión en las unidades de proceso, el ingeniero de diseño debe haber consultado y estar familiarizado con todos los documentos estándares relacionados. Algunos diferentes a los API, que pudieran aplicarse y que deben ser usados si es necesario. Sin embargo ninguno de los estándares o documentos relacionados deben usarse como únicos documentos de diseño, todos deben usarse como suplementos.

Las especificaciones del cliente que tengan provisiones adicionales se pueden adoptar con un acuerdo común para un determinado proyecto, todas las especificaciones o prácticas recomendadas por el cliente que representen una clara condición peligrosa para la seguridad del personal o de la planta deberá ser presentada para su revisión y solución. Se debe tomar la responsabilidad de la protección de cada emergencia causada por sobrepresión de todos los sistemas originados, incluyendo los diseños de nuevas instalaciones, ampliación de instalaciones diseñadas por terceros, o servicios que tengan un alcance de trabajo definido, también para determinar que exista adecuada protección por sobrepresión en paquetes de proveedores, que complementan un sistema.

Se debe tomar la responsabilidad de la evaluación de las condiciones de descarga de las válvulas de alivio, esos parámetros son determinados concurrentemente con los cálculos de dimensionamiento, sin embargo la instalación de los sistemas de alivio es un esfuerzo multidisciplinario.

En general, se puede lograr que una planta sea funcional de manera segura cuando se presente una emergencia causada por sobrepresión haciendo lo siguiente durante el diseño:

- Revisando el plan maestro de localización de los equipos.
- Comunicando las restricciones y requerimientos en los diagramas de tubería e instrumentación para elaboración de los planos de tubería y los isométricos.
- Checando que los cálculos y las hojas de datos reflejen el arreglo de tuberías final y aprobado.
- Checando que los cálculos y las hojas de datos reflejen los datos finales de los equipos e instrumentos.
- Checando los criterios de localización y dimensionamiento de los dispositivos de alivio.
- Checando la presión y temperatura de diseño de los equipos contra las condiciones de proceso.

CAPITULO 1
DETERMINACION DE LA PRESION DE DISEÑO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1 INTRODUCCION

La seguridad y operabilidad de los equipos y el proceso mismo son las metas principales de la ingeniería en la determinación de las presiones de diseño de los equipos. Una meta secundaria es alcanzar que el diseño sea lo más económicamente posible, las consideraciones para alcanzar esas metas son las condiciones específicas de operación, y las consideraciones prácticas impuestas por los dispositivos de seguridad.

Generalmente, el diseño estándar es fijar la presión de diseño de los equipos para la presión esperada más elevada durante la operación normal, más un margen requerido por el dispositivo de alivio para una adecuada operación o para permitir posibles variaciones de presión en el proceso.

1.2 PRESION MAXIMA DE OPERACION NORMAL

La presión de operación normal máxima (MNOP) usada en la selección de la presión mínima de diseño es el valor obtenido como resultado en los cálculos hidráulicos, también se consideran alternativas en las condiciones de operación para la selección de la MNOP.

1.3 PRESION DE DISEÑO MINIMA

El tipo de dispositivo de alivio y equipo para el que se va usar este dispositivo, determina el margen mínimo que puede ser aplicado a la presión de operación del equipo para establecer su presión mínima de diseño (MDP).

Cada tipo particular de dispositivo de alivio requiere un margen específico para una adecuada operación, sin embargo, se debe aplicar un margen estándar como valor práctico.

Los dispositivos de alivio diferentes a las válvulas de alivio, tales como los discos de ruptura, deben seleccionarse con base a la información del fabricante, para cumplir con el margen de diseño requerido por las condiciones de operación específicas.

Algunas veces los márgenes de diseño estándares (los cuales son diferenciales mínimos) necesitan incrementarse debido a cambios en las condiciones de operación del proceso, requerimientos para reducir goteos o fugas, o se cumpla con las especificaciones del cliente. Cualquier reducción de los márgenes de diseño estándares requieren un estudio minucioso.

1.3.1 Equipo especificado por código ASME sección I

La presión de operación para un generador de vapor será establecida mediante los cálculos del balance de vapor y es considerada como la presión máxima de operación normal (MNOP).

Es una práctica tomar para la presión de diseño de un generador de vapor el valor de la MNOP más un margen de 10% o 10 psig, lo que sea mayor.

Presión de diseño = $1.1 \times \text{MNOP}$ (psig).

O bien

Presión de diseño = MNOP (psig) mas 10 psig.

En el caso de un sobrecalentador: (con o sin válvulas entre éste y el generador de vapor).

MNOP = MNOP del generador – delta P por fricción (considerando flujo normal).

Presión de diseño = Presión de diseño del generador (MAWP, Presión de Trabajo Máxima Permisible).

Para un termosifón:

Un sistema con termosifón integral utilizando ya sea intercambiador de calor, calderas recuperadoras de vapor o serpentines.

Presión de diseño = presión de diseño del generador de vapor (MAWP) + Máxima carga estática.

Economizador integral.

La presión de operación será igual a la presión requerida para alimentar al generador de vapor, la presión de diseño no debe ser menor que la presión de shut off del suministro de agua de alimentación a calderas para el economizador integral, sin embargo un economizador independiente, forma parte de un código distinto.

Calentadores de agua para alimentación a calderas.

Los calentadores de agua de alimentación a calderas que están dentro del alcance del código ASME sección I, los cuales se calientan mediante vapor o agua extraída del generador de vapor y que están localizados entre el generador de vapor y la válvula de corte que se requiere para aislar el equipo, deben tener una presión de diseño no menor que la presión de diseño de la tubería de alimentación que conecta al calentador de agua con el generador de vapor.

Rehervidores.

Un rehervidor que esté localizado dentro de la envoltura del generador de vapor es parte del alcance del código para sistemas de generación de vapor. Sin embargo un rehervidor que esta fuera del alcance del código para generadores de vapor es el que recibe calentamiento de una fuente distinta a la que se encuentra dentro de la envoltura del generador de vapor.

MNOP = Presión de Operación (determinado por el balance de vapor).

Presión de Diseño = MNOP + 10% ó 10 psi, la que sea mayor.

1.3.2. Equipo especificado con alcance de ASME sección VIII

1.3.2.1 Recipientes

(a) Si está protegido por una válvula de alivio:

- (1) MDP = MNOP + 5 psi si MDP es menor o igual que 50 psig.
- (2) MDP = MNOP + 10% si MDP está entre 51 psig y 1000 psig.
- (3) MDP = MNOP + 7% si MDP está por encima de 1000 psig.

Si se usa una válvula operada por piloto o especialmente diseñada, el margen de diseño debe disminuirse conforme a las recomendaciones del fabricante y de la aprobación de ingeniería, en ningún caso se deberá disminuir el margen de diseño a menos del 5% o 5 psig, el que sea mayor.

(b) Si está protegido por otro dispositivo de alivio diferente a una válvula de alivio.

- (1) MDP = MNOP + 10% o 10 psi, el que sea mayor.

MDP es la presión de diseño mínima. Se pueden usar márgenes de diseño mayores dependiendo del tipo de dispositivo de alivio que se use.

1.3.2.2 Intercambiadores.

(a) Si está protegido por una válvula de alivio.

- (1) MDP = MNOP + 10% si MDP está entre 75 psig y 1000 psig.
- (2) MDP = MNOP + 7% si MDP es mayor de 1000 psig.

Si se usa una válvula operada por piloto o especialmente diseñada, el margen de diseño debe disminuirse conforme a las recomendaciones del fabricante y de la aprobación de ingeniería, en ningún caso se deberá disminuir el margen de diseño a menos del 5% o 5 psig, el que sea mayor.

(b) Si está protegido por otro dispositivo de alivio diferente al de una válvula de alivio.

- (1) MDP = MNOP + 10% o 10 psi, el que sea mayor.

En general usar 75 psig como presión mínima de diseño, sin embargo, usar 150 psig y vacío total (FV) como presión mínima de diseño para el lado del agua de enfriamiento en cambiadores, debido a las posibles condiciones transientes, y si ocurre un caso especial que requiera menos de 75 psig como presión de diseño, se pueden usar los criterios para recipientes.

1.3.2.3 Serpentes para hornos.

Cada accesorio y tubería debe diseñarse conforme a un componente base, de un sistema de tubería similar de acuerdo con las condiciones particulares de la estructura de la que forma parte el serpentín. Se debe confirmar que esas bases de diseño, se ajustan a los requerimientos necesarios para los sistemas de tuberías.

1.3.2.4 Deaerador.

En general la MDP es igual a la presión normal de operación del cabezal de suministro de vapor y vacío parcial (5 psí de presión externa ó 33% de vacío, el valor que sea menor).

La protección por vacío y por sobrepresión generalmente es proporcionada por el proveedor, se debe especificar vacío considerando pérdida de vapor y sin flujo de agua de repuesto. Especificar el caso de alivio causado por sobrepresión suponiendo que la válvula de control de vapor esté completamente abierta y el cabezal a su presión de diseño.

El sistema de reposición de agua debe ser diseñado para suministrar agua a la presión de diseño. Similarmente el sistema de retorno de condensado debe estar diseñado para retornar condensado a su flujo normal de operación a la presión de diseño del deaerador.

1.4. Equipo diseñado sin usar el código ASME.

1.4.1 Tanques de almacenamiento especificados con API 650.

La presión de diseño es igual a MAWP basada en presiones internas, generalmente para un máximo de 2.5 psig, debido a consideraciones económicas, algunas veces es deseable incrementar la MAWP por encima de éste valor sin necesidad de especificar el tanque conforme el estándar API 620. Este incremento puede hacerse solamente para tanques pequeños. La factibilidad de incrementar MAWP por encima de 2.5 psig, de acuerdo al estándar por API 650 debe revisarse cuidadosamente.

1.4.2 tanques de almacenamiento especificados por API 620

La presión de diseño es igual a MNOP + un margen adecuado. MNOP es la presión interna hasta un máximo de 15 psig.

Se recomiendan válvulas de alivio operadas por piloto para servicio de éstos equipos. Se determina un adecuado margen de diseño entre la MNOP y la presión de ajuste a partir de la información del proveedor de la válvula. Sin embargo usar 10% o 0.5 psi, el que sea mayor, como un margen típico si no se dispone de mejor información.

1.4.3 Condensadores de superficie.

La presión de diseño es igual a 15 psig y completo vacío.

1.5 ANALISIS DEL SISTEMA.

1.5.1 Circuitos hidráulicos con bombas centrifugas.

La presión de diseño del equipo localizado en la descarga de una bomba, antes de una válvula de control o una válvula de bloqueo, normalmente se determina antes que se tenga datos de la bomba. Se necesita una aproximación cuidadosa para establecer ésta presión de diseño, para evitar protección por sobrepresión en un circuito de bombeo, el cual generalmente resulta en indeseable manejo de líquido hacia el quemador. Un aumento de 40% de shut-in para la curva de la bomba es recomendado para el establecimiento de las condiciones de diseño únicamente (es decir no para los cálculos hidráulicos), sin importar el tipo de accionador que se use. La presión estimada para shut-in se debe aplicar como sigue.

- (a) Si la máxima presión de alivio (MRP) del recipiente de succión y el shut-in de la bomba pueden suceder simultáneamente, entonces la presión de diseño (DP) de la descarga de la bomba es igual a la MRP del recipiente de succión más el diferencial de shut-in de la bomba, más la máxima cabeza hidrostática de la succión basada en el máximo nivel del líquido.
- (b) Si el shut-in de la bomba y el MRP del recipiente de succión no pueden suceder simultáneamente, entonces la DP de la descarga de la bomba es igual al mayor valor de:
 - (1) MNOP del recipiente de succión más el diferencial de shut-in de la bomba más la máxima carga hidrostática de succión basada en el máximo nivel de líquido.
 - (2) MRP del recipiente de succión más el diferencial normal de la bomba, más la máxima carga hidrostática de succión basada en el máximo nivel de líquido.

Para equipo localizado después de una válvula de control o válvula de bloqueo en un circuito de descarga de una bomba, la MDP para el equipo, se debe basar en la MNOP, como se especifica en la sección 1.2.

1.5.2 Circuitos hidráulicos con bombas de desplazamiento positivo.

Las bombas de desplazamiento positivo difieren de las bombas centrífugas en que la presión de descarga está limitada únicamente por la resistencia de la carcasa de la bomba y por el torque de salida del accionador. Por esta razón, el término presión de shut-in no se aplica generalmente a las bombas de desplazamiento positivo.

La potencia al freno de una bomba es generalmente más alto que la presión normal de operación. Debido a esta característica, generalmente no es práctico diseñar equipo que está en la descarga de una bomba de desplazamiento positivo para esta condición. La MDP para el equipo en la descarga de una bomba de desplazamiento positivo se debe basar en la MNOP especificada por la sección 1.2.

1.5.3 Circuitos hidráulicos con compresores centrífugos.

La MNOP de descarga debe ser igual a la MNOP de succión más la máxima presión diferencial que el compresor es capaz de desarrollar en el sistema en el punto de surge, cuando está operando para la más severa combinación de condiciones, es decir, velocidad máxima continua, máximo peso molecular, y temperatura mínima.

Para compresores multietapas, la MNOP de las varias etapas deben ser comparadas con la presión de settling-out (Pso). La Pso es la presión de equalización alcanzada por el circuito después que el compresor para. La presión de diseño para cada etapa debe basarse en la que sea mayor de MNOP y la Pso.

Si es posible, el sistema debe ser diseñado para resistir la máxima presión de descarga posible para cada etapa basado en la presión máxima de succión y la más severa combinación de condiciones en el punto de surge. Generalmente, si la presión desarrollada por el compresor nunca puede ser mayor que la presión de diseño especificada, no se requiere protección de una sobrepresión para el caso de descarga bloqueada.

1.5.4 Circuitos hidráulicos con compresores reciprocantes.

Debido a que los compresores reciprocantes son capaces de producir una presión de descarga mayor que la presión normal de diseño de los equipos, la MDP para el equipo en la descarga de un compresor reciprocante se debe basar en la MNOP especificada por la sección 1.2, también el equipo entre etapas, debe ser diseñado para un mínimo de 2/3 de la MNOP de la descarga para la etapa subsecuente.

1.5.5 Sistemas de refrigeración

Los cálculos hidráulicos proporcionan la MNOP y temperatura esperada en el sistema durante la operación. Sin embargo, otro importante modo de "operación" ocurre cuando el sistema es ocasionalmente interrumpido durante algún periodo de tiempo. La presión en el lado de alta presión del sistema cae por debajo de MNOP especificada y la presión en el lado de baja presión se eleva por encima de MNOP especificada. La presión en el sistema equaliza a una presión llamada settling-out pressure (Pso).

Con el fin de evitar pérdidas de refrigerante de la sección de baja presión del sistema de refrigeración cada vez que el sistema se para, la MNOP de la sección de baja presión, se basa generalmente sobre la Pso, en vez de la MNOP especificada, la MNOP es incrementada por encima de la Pso por un margen apropiado que permita al sistema permanecer fuera por algún periodo de tiempo sin abrir el dispositivo de alivio en el lado de baja presión. El margen aplicado para el Pso depende de la cantidad de calor transferido en el sistema durante el tiempo que el sistema está parado, y las propiedades termodinámicas del refrigerante. Este margen se determina para cada sistema.

La presión de equilibrio para el refrigerante a la máxima temperatura ambiente esperada debe también ser base para la presión de diseño de la sección de baja presión del refrigerante. Usando éste valor de equilibrio permite al sistema permanecer en paro indefinidamente sin pérdida de refrigerante.

La MNOP para la sección de alta presión del refrigerante es generalmente el valor determinado por los cálculos hidráulicos, debido a que éste valor es normalmente mayor que ambos, el Pso y la presión de equilibrio del refrigerante.

1.5.6 Sistema en una torre.

Este sistema incluye una torre, reboiler asociado(s), condensador(es), tanque de reflujo, y tubería, para el sistema completo, que se va a proteger por un dispositivo de alivio localizado sobre la torre.

(a) Presión de diseño de la torre (DPT)

Una práctica estándar es especificar la DPT tomando como base la MNOP en el domo de la torre. Las diferencias de MNOP de domo a fondo incluyen la carga estática del líquido.

(b) Presión de diseño del reboiler (DPCI)

Para propósitos de consistencia en presión de diseño, (y la presión de prueba), el circuito completo debe tener la misma presión de diseño. Normalmente, la máxima presión de diseño del circuito está en el punto bajo de la tubería de entrada del reboiler debido a la carga estática. Por lo tanto, calcular la DPCI como sigue:

$$DPCI = DPT + \text{delta } PT + HdR1$$

Donde:

Delta PT= pérdida de presión en la torre, psi

HdR1 = la diferencia estática entre el máximo nivel de líquido en la torre o el plato de descarga, el que aplique, y el circuito de punto bajo del reboiler, psi.

Redondear la DPC1 a las 5 psig más cercanas por encima de la calculada.

(c) Presión de diseño para condensador de domo y tanque de reflujo (DPC2 y DPD1)

Generalmente no hay una situación anormal, o situación de emergencia distinta a la de fuego, cuando el flujo de vapores del tanque de reflujo hacia el dispositivo de alivio (PRV) en la línea de domos. La DPC2 y DPD1 debe ser la misma que la DPT a menos que una presión de diseño más alta se requiera debido a fuego o escenarios de derrame.

La presión de diseño del tanque de reflujo (DPD1) debe ajustarse lo suficiente para permitir que el alivio para el caso de fuego, fluya desde el tanque de reflujo a través de la PRV, sin permitir que la MRP del tanque de reflujo se eleve por encima de $1.21 \times \text{DPD1}$. Redondear la DPD1 a las 5 psig más cercanas por encima de la calculada.

Si el condensador de domo esta localizado encima del tanque de reflujo, $\text{DPD1} = \text{DPC2} + \text{HfD}$

Donde :

HfD = diferencia de cabeza estática entre fondo de C2 a domo de D1 cuando esta lleno de liquido.

Se requiere una válvula de alivio por separado para proteger el tanque de reflujo si la DPD1 no puede ser incrementada (es decir en una unidad existente).

Nuevamente, para propósitos de consistencia de presión de diseño, es conveniente hacer DPC2 igual a DPD1 si no se incurren en aspectos económicos desfavorables.

(d) Presión de diseño del cambiador de la alimentación (DPC3).

si el cambiador en la alimentación esta protegido por la PRV del domo de la torre, la presión mínima de diseño del cambiador C3, (es decir DPC3), es:

$\text{DPC3} = \text{DPT} + \text{HdC} + \text{delta Pfc} + \text{delta PT}$

Donde:

Delta PT= pérdida de presión en la torre desde la boquilla de entrada de C-3 al domo, psi.

HdC= pérdida de carga estática de la salida de C-3 a la torre, psi.

Delta Pfc = pérdidas de fricción de la salida de C-3 a la torre, psi.

Redondear DPC3 a las 5 psi cercanas por encima de la calculada.

1.6 Circuitos multiequipo.

Es deseable a veces proteger diversos equipos en un circuito teniendo una fuente común de sobrepresión con un único sistema de alivio, para minimizar el número de dispositivos de alivio. En un circuito de este tipo, la causa principal de sobrepresión es generalmente, la descarga bloqueada, condición resultante de:

- (a) Cierre de la válvula de bloqueo.
- (b) Falla del medio de enfriamiento para un condensador en un sistema.

1.7 Consideraciones de diseño para presión externa.

Generalmente se reportan condiciones de diseño de vacío mediante diferenciales externos de 0 a 14.7 psi en términos de porcentaje de vacío total en el recipiente. Si la condición de diseño es de 14.7 psi a 15 psi de presión externa, la condición de diseño se reporta como "vacío total" (FV).

1.7.1 Operaciones a vacío.

Si la operación a vacío es la condición de operación que se planea, el equipo debe diseñarse para máxima presión diferencial externa posible hasta un diseño de vacío total. Si es necesario, confirmar que la condición de vacío especificada es ciertamente la máxima que pueda existir durante la operación.

1.7.2 Desajustes en la operación.

Un ejemplo común de un desajuste en las condiciones de operación causando vacío, es la falla del sistema de control de velocidad de una turbina de un compresor con la succión del compresor operando a baja presión, es decir cerca de la presión atmosférica. La velocidad de exceso de la turbina causa una reducción en la presión de succión, posiblemente vacío.

Algunos equipos que se diseñan para resistir condiciones de vacío que resultan de operación impropia o desajuste son:

- (a) Si la entrada de aire a un sistema es peligroso, el sistema debe diseñarse para las posibles condiciones de vacío.
- (b) Los condensadores de superficie en servicios de vapor están normalmente diseñados para vacío total.
- (c) Los sistemas de agua de enfriamiento se diseñan normalmente para condiciones de vacío total para protegerlos en contra de condiciones de transiente.

Los dispositivos de protección tales como rompedores de vacío, se proporcionan para evitar el desarrollo de vacío excesivo en el equipo durante condiciones de desajuste, si la adición de aire no es peligroso. Se debe determinar la cantidad de presión externa que el equipo puede resistir de una forma segura, y se proveerá protección por vacío para evitar que en el equipo se presente exceso de presión externa.

Si no es factible diseñar el equipo para la presión externa requerida o proveer un dispositivo de protección para vacío, otras alternativas son proveer un sistema de paro de emergencia o sistema de purgar para el sistema.

CAPITULO 2

CAUSAS DE EMERGENCIAS POR SOBREPRESION

2.1 INTRODUCCION

Todos los equipos y sistemas de tuberías deben protegerse cuando la presión interna o externa puede exceder la condición de diseño del sistema debido a una emergencia, condición de disturbio, error operacional, malfuncionamiento de un instrumento, ó fuego.

Todos los elementos sujetos a una sobrepresión deben protegerse por un sistema de alivio. Puede usarse un único dispositivo para proteger a un grupo de equipos dentro de un sistema, es decir no se requiere dispositivos de alivio para cada equipo.

Cualquier circunstancia que razonablemente constituye un peligro debido a una sobrepresión bajo las condiciones que prevalecen, debe analizarse.

Todos los casos posibles de sobrepresión posibles examinados deben documentarse, incluyendo la lista de equipos protegidos y las cargas a relevar que son simultaneas con otras cargas de otros sistemas.

2.2. Casos de sobrepresión.

Esta sección intenta suplementar o clarificar aspectos que se mencionan en el API 521, una revisión de ésas causas de sobrepresión debe determinar cuales son aplicables a un equipo o sistema específico. No se consideran dos casos que no están relacionados y que ocurran simultáneamente. La condición que controla la sobrepresión para un sistema específico es la que requiere la mayor área para relevo.

Las causa por sobrepresión no está limitada a la que se enlistan en esta sección. Algunas causas, tales como fuego externo, ruptura de tubos, expansión térmica, etc., se discuten en detalle en la sección 2.3

2.2.1 Múltiples Causas

2.2.1.1 Falla de Energía Eléctrica.

Los requerimientos de relevo resultantes debido a una falla de energía eléctrica, requieren un cuidadoso análisis de la planta o del sistema, con la finalidad de evaluar que equipos se ven afectados por esta falla y su efecto en la operación de la planta, considerar una fuente de energía alterna y revisión de diagramas eléctricos, pudiera ser posible la modificación de la distribución de la energía eléctrica para minimizar inversión en los sistemas de alivio.

(a) Falla total de corriente eléctrica.

Durante una falla total el suministro de energía eléctrica a todas las secciones de la planta se interrumpe y no se restablece, se afecta el siguiente equipo.

1. Todos los las bombas accionadas por motores eléctricos.
2. Los ventiladores de los intercambiadores enfriados por aire.

3. Los compresores accionados por motores eléctricos.
4. La instrumentación es afectada, a menos que se disponga de una batería/inversor de respaldo.
5. Todas las válvulas operadas por motor, a menos que se disponga de una batería/inversor de respaldo.

La pérdida del funcionamiento de estos equipos causa que ocurran un número de emergencias simultáneas y los sistemas de alivio deben dimensionarse adecuadamente.

(b) **Falla parcial de energía eléctrica.**

La falla parcial de energía eléctrica es causada por falla de un centro de distribución o centro de control de motores o por la reducción transiente del voltaje el cual interrumpe solo los motores sin protección de variación de voltaje, la falla parcial de energía eléctrica puede causar efectos más serios que una falla total de energía eléctrica.

2.2.1.2 Falta de agua de enfriamiento.

La pérdida de agua de enfriamiento en una unidad de proceso puede causar:

- (a) Pérdida de la capacidad de enfriamiento o condensación.
- (b) El paro de los accionadores de las turbinas de condensación.
- (c) La pérdida de refrigeración (si se condensa con agua de enfriamiento)
- (d) Posible pérdida de las bombas de lubricación y sellos.

Si las bombas de circulación de agua de enfriamiento son accionadas por motores eléctricos, la falla de agua de enfriamiento y corriente eléctrica pueden ocurrir simultáneamente.

2.2.1.3 Falta de vapor de agua.

La falla de vapor puede ser causada por el cierre de una válvula en el cabezal principal de suministro a una unidad, la falla de suministro de vapor causará:

- (a) Paro de turbinas que accionan bombas y compresores, etc.
- (b) La pérdida de capacidad de calentamiento.
- (c) La pérdida de algunas bombas reciprocantes.
- (d) La pérdida de eductores y eyectores.
- (e) La pérdida de suministro de vapor de rectificación.

2.2.1.4 Falta de aire de instrumentos en toda la planta

Todas las válvulas afectadas se consideran que fallan en la posición especificada, las válvulas de control son especificadas normalmente para fallar de una manera segura durante una falla en el suministro de aire de modo que la descarga de alivio sea minimizada, sin embargo, los efectos de aire de instrumentos se debe checar.

2.2.2 Causas únicas.

2.2.2.1. Operación inadvertida de válvulas manuales.

Considerar que las válvulas manuales cerradas durante la operación pueden ser abiertas inadvertidamente, se aplican las siguientes reglas generales.

- (a) Solamente una válvula manual se considera que se cierra inadvertidamente.
- (b) Solamente una válvula manual se considera que se abre o se deja abierta inadvertidamente.
- (c) Para contrarrestar los efectos que se ocasionan con lo anterior el ingeniero de diseño debe especificar la válvula en cuestión que sea CSO, CSC, L.O ó L.C, las válvulas candeadas ó con sealed solo pueden ser usadas si la válvula va a ser "siempre abierta" ó "siempre cerrada" durante la operación de la planta.

2.2.2.2. Malfuncionamiento/operación de estaciones de válvulas de control.

Considerar una válvula de control que inadvertidamente abre o cierra, sin tener en cuenta su "modo de falla". Considerar que el by-pass de la válvula de control se abre inadvertidamente durante la operación. Se aplican las siguientes reglas generales:

- (1) Se cierra una válvula de bloqueo después de la válvula de control. Dependiendo de las condiciones de alivio esto puede resultar en un flujo a relevar que excede el flujo para lo cual fue diseñado el sistema, se recomienda especificar como flujo a relevar considerando la válvula de control completamente abierta.
- (2) Abre la válvula de control.

Mientras una válvula de control está operando, el by-pass de la válvula se supone que está cerrado, en tal escenario, el flujo a ser relevado es el flujo adicional que pasa a través de la válvula cuando alcanza su posición de apertura completa. La capacidad total de la válvula es calculada con la máxima presión de operación antes de la válvula, y las condiciones de relevo después de la válvula.

(3) Se abre la válvula de by-pass.

Esta apertura ocurre ya sea cuando la válvula de control esta cerrada (y no esta en servicio) o mientras la válvula de control está en servicio, sin embargo, debido a que cualquier flujo inicial a través de la válvula de control continúa a través del sistema, el flujo en exceso a ser relevado es equivalente solo al flujo que pasa a través del by-pass.

2.2.2.3 Malfuncionamiento de una válvula check.

La fuga en una válvula check debe considerarse como un indicio de sobrepresión en un sistema debido a que esta fuga puede causar que el lado de baja presión en el sistema alcance una presión más alta que su presión de prueba (es decir si la fuga no puede ser disipada por el lado de baja presión en el sistema).

2.2.2.4 Exceso de calor hacia reboilers.

El exceso en la cantidad de calor hacia un reboiler causada por la falla en la apertura de válvula de control del medio de calentamiento debe calcularse considerando la sobrecapacidad en el diseño del reboiler, y una condición limpia.

2.2.2.5 Variaciones de presión en régimen transiente.

Generalmente la protección por sobrepresión mediante dispositivos de alivio se considera inadecuado para estos sistemas, otros medios de protección, tales como incremento en las presiones de diseño o válvulas con cierre lento, se deben proveer si se requieren.

2.3 REQUERIMIENTOS DE PROTECCIÓN

2.3.1 Fuego externo.

El estándar API 521 discute extensivamente la determinación de los requerimientos de alivio causados por fuego externo. Sin embargo el estándar API 2000 se debe usar para determinar los requerimientos de protección para tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión.

No se requiere protección por fuego externo a menos que sean establecidos los siguientes requerimientos:

(a) Existe inundación como fuente de fuego debido a:

- (1) Cualquier líquido inflamable puede ser liberado desde el equipo o equipo adyacente y/o tuberías debido a fugas o por una operación inadecuada.
 - (2) El drenaje de la superficie o pendiente no evita el estancamiento de líquido en el área del equipo que se trate.
- (b) Una condición de sobrepresión ocurre debido a:
- (1) El equipo contiene líquido que puede ser vaporizado o gas que puede ser expandido para producir una presión mayor que la presión de diseño.
 - (2) El flujo en exceso mencionado en el punto (1) no pueda ser relevado a través de circuitos normales del proceso.

2.3.1.1 Suposiciones.

No se puede definir los tamaños reales de fuego. Y puede ocurrir fuego si el equipo de planta esta fuera de servicio o en alguna fase de operación. Sin embargo, para fines de cálculo se usan las siguientes suposiciones.

(a) Status del equipo

- (1) Se ha detenido el flujo desde y hacia el equipo.
- (2) El equipo contiene su nivel normal de operación de líquido. Si no puede ser definido el nivel normal del líquido, usar el máximo nivel de operación usando el sketch del recipiente.

(b) Tamaño del fuego.

- (1) El plan layout actualizado (provisiones de drenaje, pendiente, o barreras naturales) determinan una área de estancamiento. En la ausencia de tal información, suponer una zona circular de incendio igual a 70 pies de diámetro, todos los accesorios dentro de una zona de incendio son afectados.
- (2) Normalmente 25 pies de altura. Sin embargo referirse al estándar API para posibles excepciones tales como esferas y tanques de almacenamiento (API 2000)
- (c) Ambos lados de un cambiador, tubos y coraza se consideran para protección de exposición a fuego. Solamente la porción del lado de los tubos expuesta a fuegos (es decir el canal no los tubos mismos los cuales están protegidos mediante la coraza) debe considerarse para el cálculo del área.
- (d) Para los enfriadores por aire, si se hace el diseño adecuado del drenado y no hay equipo localizado debajo del enfriador, la posibilidad de una zona de estancamiento se minimiza. Típicamente localizar los enfriadores encima de los racks de tuberías lo cual satisface el criterio y eleva el aire de los enfriadores mas de 25 pies como limite, y por lo tanto eliminando el requerimiento de protección.

- (c) Tubería individual o accesorios de tubería, se considera que generalmente no requieren protección para fuego externo, sin embargo la tubería de interconexión entre el equipo será incluido en el cálculo para requerimientos de relevo por fuego para sistemas con múltiples equipos.

2.3.1.2 Protección contra incendio

Una practica de ingeniería es no proveer depresurización de vapor como un medio estándar de protección contra incendio. Si se requiere por el cliente o dirección del proyecto y no se especifica un método, usar el estándar API 521 como base para determinar los requerimientos para depresurización de vapores.

2.3.2. Ruptura de tubos

No se requiere protección por sobrepresión en el lado de baja presión de un intercambiador en el caso de una ruptura de tubos si aplica lo siguiente.

- (a) La presión de diseño para el lado de baja presión es igual o mayor que 2/3 de la presión de diseño para el lado de alta presión es decir la regla de los 2/3.
- (b) El intercambiador es en realidad un doble tubo cambiador, construido de cédula normal para tubería y no de múltiples tipos de tubo. La ruptura de este tipo de cambiador es considerado menos probable.
- (c) El flujo en exceso producido por la ruptura de tubos puede ser relevado a través del sistema normal de baja presión sin causar una condición de sobrepresión mayor que 1.5 veces la presión de diseño del lado de baja presión.

2.3.2.1 Diseño de protección.

Para caso de régimen no transientes o de estado estable, el flujo a través de una ruptura de tubos se calcula usando los métodos estándares de cálculos hidráulicos. Una PRV dimensionada para flujo a estado estable y localizada en la tubería adyacente es adecuada para la protección de una sobrepresión. Para casos de regimenes transientes los discos de ruptura se usan para protección debido a que responden más rápido que las válvulas de alivio. Sin embargo para que sea efectivo el o los discos de ruptura deben localizarse lo más cercano posible a la posible ruptura.

2.3.2.2 Checar para flasheo.

Antes de usar la fórmula para el cálculo del flujo debido a la ruptura de tubos determinar si algún líquido presente vaporizara como resultado de la reducción de presión, mediante el contacto directo con un líquido más caliente o por la combinación de ambos.

2.3.2.3. Vapor o dos fases sin flasheo.

El flujo debido a una condición de ruptura de tubos en un cambiador de tubos y coraza se basa en el modelo de la ruptura de un solo tubo y así prever dos áreas de tubo, para flujo desde el lado de alta presión al lado de baja presión, para simplicidad de cálculos el flujo a relevar se toma como el doble del flujo a través del orificio más el flujo a través del tubo.

2.3.2.4 Líquidos sin vaporizar.

Par líquidos que no vaporizan, suponer cada extremo de la ruptura del tubo como si fuera un orificio con un coeficiente de orificio = 0.7 y calcular el flujo.

2.3.2.5. Líquido que flashea o fluido a dos fases con flasheo.

Para líquido que flashea o dos fases con vaporización, calcular la cantidad de flasheo resultante por la reducción de presión causada, mediante el flujo del lado de alta presión hacia el lado de baja presión a través del disco de ruptura. La porción de área de tubo dedicada al alivio de vapor y al alivio de líquido se calcula como sigue para llegar al flujo total de cada fase.

Estimar un flujo (WE) a través de cada extremo de tubo roto y calcular el peso del vapor formado (Wve) y el peso del líquido que permanece (Wle) basado en la cantidad de flasheo. El cálculo del flash se basa en la máxima presión de relevo para el lado de baja presión o la presión crítica, la que sea mayor.

2.3.2.6 Métodos de protección de una sobrepresión.

(a) Para ruptura de tubos de cambiadores de calor, no se requerirá dispositivos de alivio cuando cantidades suficientes de material se pueden descargar a través de la conexión de baja presión del sistema para evitar una sobrepresión en el cambiador o sistema de baja presión de más de 1.5 veces la presión de diseño. La válvula de corte del cambiador se supone abierta excepto en los siguiente casos.

- (1) Las válvulas provistas para regulación manual en los servicios de agua de enfriamiento y de vapor se suponen que están $\frac{1}{4}$ de la apertura del área de la válvula.
- (2) Las trampas de vapor y similares se supone que están cerradas.
- (3) Las válvulas de control se suponen que están en su posición normal.

(b) Si el flujo generado por una ruptura de tubo no se puede descargar por la tubería del lado de baja presión dimensionar un dispositivo adecuado de alivio basado en el flujo calculado. El cálculo para la línea de conexión debe basarse en 1.1 veces y no 1.5 veces la presión de diseño en la Ec. 3.12, al calcular la capacidad del dispositivo de alivio.

2.3.3. Expansión hidráulica.

Si algún equipo lleno de líquido o sistemas de tubería se pueden bloquear en un calentamiento subsecuente, ocurre expansión hidráulica, resultando en un incremento en la presión del sistema y de los esfuerzos térmicos.

Se deben hacer provisiones en el diseño para relevar el exceso de presión o contenerla de manera segura. Se proporciona alivio de una sobrepresión cuando a una temperatura se puede exceder la presión de diseño. Causas comunes de incrementos de temperatura son de los siguientes flujos de entrada de calor.

- (a) El lado frío de un intercambiador se expone a la temperatura del lado caliente.
- (b) Trazado con calentamiento.
- (c) Sistemas aislados son expuestos a la máxima temperatura ambiente de diseño, y sistemas no aislados se exponen a la temperatura por radiación solar.

2.3.3.1 Equipo.

Se recomienda una válvula de alivio cuando el cierre de una válvula única en el lado frío aísla el líquido y causa una presión mayor que la presión de diseño. Una válvula check antes del equipo y una válvula de bloqueo o de control después del equipo aísla al equipo cuando la válvula que está después del equipo se cierra.

2.3.3.2 Tubería y accesorios de tuberías.

Se recomienda una válvula de alivio cuando al cierre de una válvula única aísla el líquido y el incremento de presión excede el rango de temperatura-presión de diseño del sistema de tubería o al esfuerzo permitido a la temperatura de diseño, incluyendo variaciones por encima de las condiciones de diseño permitidas por los códigos aplicables.

2.3.3.3 Métodos de diseño alternativos.

La causa potencial de sobrepresión puede ser controlada mediante principios de diseño o prácticas de operación sin comprometer la seguridad del personal y del equipo. Por ejemplo, los procedimientos de operación pueden indicar que un sistema puede drenarse y tener venteo adecuadamente antes de aislarse para su mantenimiento mediante sus válvulas de bloqueo. Algunas veces es necesario recordar esos requerimientos mediante la colocación de señalamientos o alguna

otra designación en las válvulas de bloqueo, también una válvula pudiera ser operada solamente por personal autorizado, esos principios de diseño eliminarán la necesidad de una válvula de alivio para líquidos.

2.3.3.4 Presión

(a) Equipo.

La válvula de alivio para líquido deberá ajustarse a una presión igual a la presión de diseño del equipo.

(b) Tubería y accesorios de tubería.

Generalmente la válvula de alivio para líquido debe ajustarse a la presión de diseño del sistema de tubería. Para expansión hidráulica únicamente, si se requiere por circunstancias específicas y con la aprobación del cliente, la válvula de alivio puede ajustarse a presiones que no excede la menor de: la presión de prueba del sistema de tubería o 129% de la presión de diseño.

2.3.4. Sistema para torre de fraccionamiento.

La simulación de procesos a las condiciones de alivio se debe usar como base para la determinación de los flujos y condiciones a relevar. Si la simulación de procesos no es práctica se deben usar los siguientes métodos

2.3.4.1 Falla de energía eléctrica.

- (a) Todos los circuitos excepto la alimentación son interrumpidos por falla de energía eléctrica, la cantidad de relevo es igual a la entrada de vapores.
- (b) Todos los circuitos son interrumpidos por falla de energía eléctrica. La cantidad a relevar es cero, si el medio de calentamiento del reboiler no se interrumpe, relevar los vapores del reboiler.
- (c) El reflujos y enfriamiento de domos se interrumpe por falla de energía eléctrica, la cantidad máxima a relevar es igual a los vapores de la segunda etapa.
- (d) En caso que la falla afecte los accionadores de los ventiladores en los enfriadores por aire se puede suponer que el 25% de la capacidad de diseño está disponible debido a ventilación natural.
- (e) Si los condensadores con agua forman parte de los condensadores de los domos y la condensación es parcial, la cantidad relevada puede ser reducida por la cantidad de condensado en el condensador previendo que el circuito de agua no se afecta por falla de la misma fuente de energía y se dispone de suficiente tiempo de llenado en el tanque de reflujos, medido por encima del nivel normal de líquido.

2.3.4.2 Falla en el medio de enfriamiento.

(a) Operación mediante condensación total

La carga de relevo inicial es igual a la cantidad máxima normal de vapor del condensador.

(b) Operación mediante condensación parcial.

- (1) La cantidad a relevar puede ajustarse a una cantidad menor que la de condensación total mediante la cantidad del vapor que sale del recipiente de reflujo.**

- (2) Se debe tener cuidado especial al analizar el efecto de falla de agua de enfriamiento. Ambos; una falla local y una falla del cabezal principal se deben considerar.**

2.3.4.3 Falla en el reflujo.

Si el reflujo es proporcionado por el circuito de domos solamente, la capacidad inicial a relevar será los vapores de la segunda etapa menos los vapores normales del domo, sin embargo debido a que el nivel de líquido del receptor de domos está incrementando, generalmente el condensador también está cargado. Debido a que los recipientes de reflujo raramente tienen un tiempo de llenado de 30 min, la pérdida del condensado se supone simultáneamente con la pérdida del reflujo y los vapores de la segunda etapa se usan como la carga máxima a relevar.

Para sistema de torres con múltiple reflujo, será necesario una simulación, basada en varios casos de relevo y condiciones con el fin de obtener el flujo requerido, si una simulación no es factible los requerimientos de alivio se basan en flujo de evaporación causada por una cantidad de calor igual a la removida del sistema por los circuitos que se interrumpen.

2.3.5 Sistemas de generación de vapor.

Esta sección señala lo que se menciona en la sección I del código ASME sobre seguridad en sistemas de generación de vapor y válvulas de seguridad.

2.3.5.1 Localización.

- (a) Es una práctica de ingeniería en los generadores de vapor que las válvulas de seguridad de los tanques de vapor estén montadas directamente en boquillas, localizadas sobre el tanque de vapor.**

- (b) Para generadores de vapor de flujo forzado sin línea fija de vapor o de agua, localizar las válvulas de seguridad en la salida del serpentín.
- (c) Para calderas de diferentes presiones de diseño y presiones de ajuste mínimas para las válvulas de seguridad, conectadas de modo que el vapor pueda fluir hacia las unidades de baja presión, localizar válvulas de seguridad adicionales si se requiere en el lado de baja presión del sistema.
- (d) Para cualquier economizador que puede ser interrumpido del generador, proveer válvulas de alivio con por lo menos una válvula localizada a la salida del economizador.

2.3.5.2 Presión de ajuste

Ajustar la válvula de alivio en el generador a la presión máxima de trabajo si solamente una válvula o una válvula y una spare se instalan, si se usan válvulas adicionales ajustar éstas válvulas adicionales a una presión igual que las anteriores ó a un valor menor de 1.03 veces la presión máxima de trabajo.

Durante una situación de sobrepresión la válvula del sobrecalentador debe relevar antes que la válvula de alivio del tanque de vapor de la caldera para proteger el serpentín del sobrecalentador.

2.3.6 Equipo múltiple

Un grupo de equipos puede ser protegido por una válvula única de alivio previendo que no hay válvulas de bloqueo entre ellos y que las pérdidas de presión en la línea no excedan la presión de acumulación en los equipos. Se permite una variación cuando, en un conjunto de equipos con válvulas de bloqueo entre ellos solamente uno proporciona la fuente de sobrepresión. En tales casos una válvula de alivio para flujo total localizada en la fuente de sobrepresión puede servir para todos los equipos, y los equipos entre válvulas de bloqueo son resguardados si es necesario solamente por una válvula de alivio para caso de incendio.

2.3.7 Descarga bloqueada en bombas y compresores recíprocos.

Se requieren válvulas de alivio cuando la presión de shut off excede la presión de diseño del equipo, la presión de ajuste debe estar de acuerdo con el diseño mecánico de éstos equipos.

2.3.8 Compresores centrífugos y sopladores.

No se requieren válvulas de alivio si la presión de diseño de la descarga es la adecuada para la máxima presión de descarga del equipo. Las características de cada maquinaria debe examinarse para determinar si se requiere ó no protección, se deben examinar circuitos entre carcasas en serie para válvulas o equipos que podrían conducir a una condición de sobrepresión.

En un sistema de compresión centrífuga, la descarga máxima potencial debe ser considerada que ocurre a la condición de máxima velocidad continua, máximo peso molecular normal, mínima temperatura normal de alimentación a la presión máxima de succión y a la variación de cabeza diferencial. Son todas coincidentes a menos que sean físicamente imposibles.

2.3.9 Descarga bloqueada de bomba rotatoria.

No se deben proveer válvulas de alivio para prevenir ya sea apertura del interruptor del circuito eléctrico o sobrecarga del motor debido a la excesiva presión de descarga de las bombas de desplazamiento positivo accionadas por motor. La única consideración para protección debe ser la posibilidad del shut-in.

2.3.10 Descarga bloqueada de bombas centrifugas.

Generalmente no se proveen válvulas de alivio para proteger contra shut-in de las bombas. La carcasa de la bomba, tubería y equipo deben ser diseñados adecuadamente para presiones de shut-in.

2.3.11 Accionadores y expansores.

Se requiere protección por sobrepresión si el lado de baja presión de la carcasa no esta diseñada para una condición de bloqueo.

El flujo usado para dimensionar las válvulas de alivio para turbinas no condensantes, expansores, turbinas hidráulica, y accionadores de vapor reciproantes debe ser el flujo real a través de la maquina a las condiciones de relevo.

CAPITULO 3

DIMENSIONAMIENTO

3.1 INTRODUCCION

Aunque se debe usar el código aplicable para cada diseño, se presentan criterios para el cálculo con las correlaciones pertinentes para el tamaño de las válvulas; No se pueden aplicar fórmulas generales para dimensionamiento de discos de ruptura, válvulas de alivio atmosféricas, o venteos para tanques, de modo que se debe consultar a los fabricantes para la información de dimensionamiento de esos dispositivos, las ecuaciones que se presentan en este capítulo han sido tomadas de los estándares del API.

3.2 Fuego Externo

3.2.1 Cálculo de flujo a relevar.

(a) Vaporización de líquido

(1) se usa la siguiente ecuación para calcular el calor de entrada.

Ec. 3.1

$$Q = 21000 * F * A^{0.82}$$

donde:

Q = absorción total de calor (calor de entrada) para la superficie mojada, Btu/hr.

F = factor ambiental.

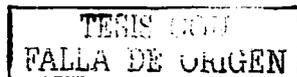
A = superficie mojada total para el equipo, ft², dentro del alcance de incendio.

El factor 21000 está sujeto a modificaciones, por requerimientos de cada proyecto específico (los estándares API 520 y 521 recomiendan un máximo factor de 34500 basado en instalaciones no adecuadas, e.g., para localizaciones remotas). Sin embargo cuando faltan datos específicos para el proyecto, se recomienda usar 21000 como valor estándar.

F es normalmente 1.0. Usar F = 0.3 si el sistema está aislado.

Los estándares de ingeniería normalmente especifican chaqueta de aluminio para los tipos de aislamiento, generalmente no se puede tomar en cuenta aislamiento por fuego para aislamiento caliente (el cual usa silicato de calcio o lana mineral), o aislamiento frío (el cual usa fibra de vidrio). Sin embargo las especificaciones de aislamiento para el proyecto son las que predominan, y deben chequearse para los requerimientos individuales. Si se toman en cuenta los aislamientos se reduce significativamente en tamaño del sistema de alivio.

A es la superficie mojada por el líquido contenido internamente en los equipos (i.e., el diámetro interno se usa para el cálculo del área de superficie, sin embargo la superficie del área externa expuesta a fuego la cual puede incluir aislamiento no se considera).



(2) Se usa la siguiente ecuación para calcular el flujo a relevar.

$$W = Q/L$$

Ec. 3.2

donde:

W = Flujo a relevar, lb/hr

Q = de la ecuación 3.1, Btu/hr

L = Calor latente de vaporización, Btu/lb

Q y W se calculan separadamente para cada equipo dentro del área de fuego designada. Si éstos equipos están interconectados y protegidos mediante un sistema de alivio único, el flujo individual (W) se suma. No se debe sumar las áreas de superficies para obtener el área de superficie total y luego calcular W. Para cada elemento del sistema, incluir la W para la tubería de interconexión. Calcular W si el tamaño de tubería se conoce y el arreglo puede definirse adecuadamente. De otra manera, multiplicar el W total del sistema por 1.1 para considerar el calor de entrada a la tubería de conexión.

L se determina a las condiciones de relevo y es definida por varios métodos dependiendo del líquido que va a ser vaporizado.

Se pueden usar datos estándares de entalpia/presión/temperatura para componentes líquidos individuales.

El valor L = 50 Btu/lb se usa como mínimo (o puede ser un valor conservativo si no se tiene el dato para el calor latente para las condiciones especificadas). Para condiciones de presión por encima del punto crítico, el cálculo resulta en cálculo de expansión de gas en vez de cálculo de vaporización de líquido.

(b) Expansión de gas.

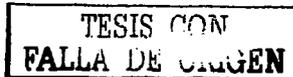
(1) se usan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la presión.

Ec. 3.3a

$$A = \frac{F' * A'}{\sqrt{P_1}}$$

si se considera aislamiento

$$A = \frac{0.5 * F' * A'}{\sqrt{P_1}}$$



Ec. 3.3b

donde:

F' = factor

A' = área de superficie expuesta, ft².

P₁ = presión máxima de alivio, psia.

Calcular F' como sigue:

Ec. 3.4

$$F' = \frac{0.1406 * (T_w - T_1)^{1.25}}{C * K_d * T_1^{0.6506}}$$

donde:

T_w = Temperatura de pared del equipo, la temperatura máxima permisible para acero al carbón que se usa para caso de fuego es 1100 F. para diferentes materiales la máxima temperatura permisible listados en el código ASME B31.3. se puede usar como guía.

T₁ = Temperatura del gas a las condiciones de relevo. Usar T₁ = T_n*P₁/P_n, donde T_n y P_n son las condiciones normales de operación (R y psia) y P₁ es la máxima presión de relevo (psia).

C y K_d del capítulo 6.

A' es la superficie externa calculada, expuesta a fuego, aún si el equipo está aislado (suponer que no hay aislamiento para el cálculo de A').

(2)El flujo de relevo (W, lb/hr) se calcula usando la ecuación de dimensionamiento de la válvula de alivio (Ec. 3.14) para calcular W a partir del área calculada de Ec. 3.3a o 3.3b.

3.3 Ruptura de tubos

Antes de usar la ecuación para el cálculo del flujo por ruptura de tubo, determinar si algún líquido presente flashea como resultado de la reducción de presión, por contacto directo con un fluido más caliente, o por la combinación de ambos.

3.3.1 Vapor o 2 fases sin vaporización.

Por simplicidad de cálculo, el flujo a relevar se toma como 2 veces el flujo a través de un orificio, Ec. 3.5, (2 x W₁). Si se considera que la ruptura será en el espejo de tubos, el flujo a relevar se considera como el flujo a través de un orificio, Ec. 3.5, más el flujo a través del tubo Ec. 3.6 (W₁ + W₂).

Ec. 3.5

$$W_1 = 1154 * d^2 * \sqrt{\rho * \Delta P}$$

Ec. 3.6

$$W_2 = 288.4 * P_1 * d^2 * \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^2}{24 * \frac{f * L}{d} - \ln \frac{P_2}{P_1}}} * \frac{MW}{T}$$

donde:

W₁ = Flujo a través de un orificio (lb/hr).W₂ = Flujo a través de un extremo del tubo (lb/hr).W_t = Flujo total a relevar, W₁ + W₂ o 2 W₁ (el que sea mayor)

d = D.I. del tubo, pulgadas

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Diámetro	BWG						
Nominal	8	10	12	14	16	18	20
	(.165)	(.134)	(.109)	(.083)	(.065)	(.049)	(.035)
5/8"	—	—	.407	.459	.495	.527	.555
3/4"	—	.482	.532	.584	.620	.652	.680
1"	.670	.732	.782	.834	.870	.902	.930

f = Factor de fricción de fanning.

L = Longitud total de tubo, ft.

P₁ = Presión de operación normal del lado de alta presión, PSIA.P₂ = Presión máxima de alivio del lado de baja presión, PSIA (o presión crítica si Perit > P₂)ρ = Densidad (vapor y líquido homogénea si no hay vaporización) a P₂, o presión crítica, lb/ft³ (si hay vaporización y líquido, usar P₂ de vaporización y determinar la densidad).M_w = Peso molecular (si hay vaporización de vapor y líquido, usar P₂ de vaporización para determinar M_w).T = temperatura de operación del fluido de alta presión (si hay vaporización y líquido, usar P₂ de vaporización para determinar T).

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

3.3.2 Líquidos sin vaporización

Para líquidos sin flash suponer que cada extremo de ruptura de tubo como un orificio de coeficiente = 0.7. Calcular el relevo de líquido usando las siguientes ecuaciones:

Ec. 3.7a

$$GPM_t = 21.2 * d^2 = \sqrt{\frac{\Delta P}{SG_t}}$$

6

Ec. 3.7b

$$W = 1343 * d^2 = \sqrt{\rho * \Delta P}$$

Cada ecuación es para cada extremo del tubo. Multiplicar por 2 para ambos extremos del tubo, el cual es el flujo total a relevar.

Donde:

W = Flujo (lb/hr).

GPM_t = Flujo, en GPM a Temperatura.

d = I.D. del tubo (pulgadas).

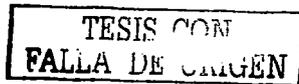
SG_t = gravedad específica a la temperatura de flujo (si hay vaporización y líquido, usar las condiciones de vaporización a la presión máxima de relevo del lado de baja presión o presión crítica (la que sea mayor) para determinar SG_t).

ρ = densidad a la temperatura de flujo (si hay vaporización y líquido, usar las condiciones de vaporización a la presión máxima de relevo del lado de baja presión o la presión crítica (la que sea mayor) para determinar la densidad).

P₁ = presión normal de operación del lado de alta presión (PSIA).

P₂ = presión máxima de relevo del lado de baja presión (PSIA).

ΔP = P₁ - P₂



3.3.3 Líquido con vaporización o fluido a dos fases con vaporización.

Usar el siguiente procedimiento para determinar el área de relevo requerida del dispositivo de protección.

Usar los flujos obtenidos (Wve & Wle) para resolver la Ec. 3.5 y 4.7b para (d1) y (d2). Si la caída de presión es mayor que la caída de presión crítica, usar la delta P crítica en la Ec. 3.5 y delta P total en la Ec. 3.7.b. debido a que el flujo es proporcional al cuadrado del diámetro, usar las siguientes relaciones:

Ec. 3.8a

$$W_{va} = W_{ve} * \left(\frac{d_a}{d_e} \right)^2$$

Ec. 3.8b

$$W_{la} = W_{le} * \left(\frac{d_a}{d_e} \right)^2$$

Ec. 3.9

$$d_e^2 = d_1^2 + d_2^2$$

donde:

d_e = D.I. real de tubo (pulgadas)d₁ = Diámetro requerido para el paso del vapor estimado (pulgadas)d₂ = Diámetro requerido para el paso del líquido estimado (pulgadas)W_{ve} = Flujo estimado de vapor (lbs/hr).W_{le} = Flujo estimado de líquido (lbs/hr).W_{va} = Flujo real de vapor (lbs/hr).W_{la} = Flujo real de líquido (lbs/hr).

Entonces:

$$W_{vt} = (2)(W_{ve})$$

Ec. 3.10

$$W_{lt} = (2)(W_{le})$$

Ec. 3.11

Donde:

W_{vt} = Flujo total de vapor (lbs/hr).W_{lt} = Flujo total de líquido (lbs/hr).

3.3.4 Capacidad de la línea de conexión.

Para ruptura con vapor de alta presión hacia un sistema de baja presión que contenga líquido, se calcula el flujo volumétrico de vapor luego se determina. La presión requerida para manejar este vapor y el flujo volumétrico equivalente del líquido a través del sistema de baja presión. También considerar la posibilidad de congelamiento causando bloqueo de flujo a través del sistema de baja presión (ejemplo etileno a alta presión vaporizando en el lado del agua o lado de vapor de agua en un cambiador). Para todos los otros casos usar el procedimiento siguiente.

Para checar la capacidad de la línea de conexión, calcular la acostumbrada caída de presión usando la siguiente ecuación.

Ec. 3.12

$$\frac{P_i}{100} = \left(K * P - P_0 - \frac{SG_f * h}{2.31} \right) * \frac{100}{L}$$

Donde:

P_i = Caída de presión (psi).

P = Presión de diseño del lado de baja presión (psig).

P_0 = Presión de Operación del punto terminal de la línea de conexión (psig).

h = Cambio en cabeza estática relativa al cambiador (ft.).

L = Longitud total equivalente de la línea (ft.).

SG_f = Gravedad específica del fluido a la temperatura de flujo.

Se puede entonces determinar la capacidad máxima de la línea.

3.4 Expansión hidráulica

Se debe especificar una válvula de alivio para líquido. Generalmente el flujo a relevar no necesita ser calculado para una expansión hidráulica la cual sirve solamente para una porción en un sistema. Es práctica estándar especificar una válvula de $\frac{1}{4} \times 1$ porque se relevará un flujo pequeño. El área seleccionada no debe exceder 0.110 pulg².

Instalaciones tales como largas tuberías no aisladas o intercambiadores grandes pueden requerir un cálculo del área efectiva de descarga para determinar el área del orificio.

Los efectos de contrapresión en la válvula deben también considerarse cuando se releva hacia un sistema cerrado. Es decir las líneas de descarga para esos sistemas deben chequearse.

El tamaño de la tubería de entrada y salida deben ser por lo menos del mismo tamaño que la respectiva conexión de la válvula.

3.5 Sistemas generadores de vapor.

La capacidad requerida en dispositivos de alivio para éstos sistemas depende del elemento o equipo protegido y no de varios casos de alivio para un sistema particular, como es el caso para sistemas distintos a los de generación. En general hay un único caso para considerar cuando se dimensiona dispositivos de alivio para sistemas de generación de vapor y es el relevo de la capacidad total de vapor que puede generarse en el equipo de generación de vapor.

- (a) La determinación de la capacidad del generador de vapor depende de la disponibilidad de información tal información como superficie de calentamiento, máxima capacidad de generación de vapor, máxima salida en

Btus ó KW de entrada para generadores de vapor eléctricos, generalmente no está disponible. Por lo tanto, para cálculos iniciales, la capacidad de vaporización del equipo se tomará como $1.2 \times$ el balance de vapor a las condiciones de operación. Usar éste valor como la capacidad requerida para relevar y más tarde cuando se tenga información específica disponible, checar los requerimientos mínimos de capacidad.

- (b) En la mayoría de los casos la capacidad requerida de alivio será mayor que el valor calculado a partir de la superficie de calentamiento porque este valor debe incluir todas las fuentes de generación de vapor dentro del sistema. Esas fuentes incluirían el equipo mismo, cualquier unidad de termosifón integral tales como intercambiadores, etc., que contribuyen a la capacidad de vapor generado, y cualquier servicio conectado directamente, que pudiera agregar vapor al sistema bajo operación normal.
- (c) Se requiere especificar el flujo mínimo a través de los serpentines del sobrecalentador para prevenir que se sobrecalienten durante una condición de sobrepresión en el generador de vapor. Para la mayoría de los sobrecalentadores en los sistemas de generación de vapor, la capacidad de relevo será igual a 75 por ciento del flujo máximo de vapor para lo que está diseñado el serpentín del sobrecalentador. Sin embargo, notar también que, las válvulas de seguridad del tanque deben ser lo suficientemente grandes para manejar por lo menos de 75% de la capacidad total requerida.
- (d) Teniendo ésta capacidad grande de relevo en la salida del sobrecalentador en combinación con las consideraciones de baja presión de ajuste para las válvulas de seguridad del sobrecalentador en comparación con las válvulas de seguridad del tanque de vapor permitirán relevar a través de la válvula del sobrecalentador. El flujo continuo a través del serpentín del sobrecalentador sería usado para.
 - 1) Evitar el sobrecalentamiento de los serpentines. Por lo tanto, durante una condición de relevo los serpentines no se sobre presionarán causando una falla.
 - 2) Tomar el mayor calor posible de la otra sección de convección de los serpentines, como en (1), esto permitirá a los fluidos de la otra sección de convección permanecer a la operación normal y por lo tanto causar poco disturbio como sea posible.
 - 3) Si el nivel en el tanque baja. Un control de bajo nivel deberá proporcionarse para interrumpir el suministro de combustible al generador de vapor. El flujo continuo de agua de alimentación a 50% del flujo de diseño es suficiente para proteger el serpentín del sobrecalentador en contra del calor interno residual en el equipo hasta que el generador de vapor se enfríe. Si no se prevé un método para detener la entrada de calor cuando es alcanzado el nivel bajo, la bomba de alimentación debe ser especificada para igualar la capacidad de alivio requerida según el inciso (c).

3.6 Flujo Crítica vs. SubCrítica.

La fórmula de dimensionamiento de vapor o gas cae dentro de las dos categorías básicas dependiendo de si la presión de flujo es crítica o subcrítica.

3.6.1 Presión Crítica de flujo (P_{cf})

P_{cf} (PSIA) > contrapresión (PSIA)

La presión crítica de flujo puede ser determinada por las relaciones de gas perfecto:

Ec. 3.13

$$P_{cf} = P_1 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}$$

donde P₁ es la presión de relevo(PSIA), k es la relación de calores específicos para un gas ideal y varía con la presión y la temperatura.

3.6.2 Presión Subcrítica de flujo.

P_{cf} (PSIA) < contrapresión (PSIA)

La relación de la contrapresión total a la presión de relevo(P₁) excede la relación de presión crítica P_{cf}/P.

3.7 Dimensionamiento para Flujo Crítico

Las válvulas de alivio para gas o vapor (que no sea vapor de agua) se dimensionan usando la siguiente fórmula cuando operan bajo condiciones críticas de flujo.

Ec. 3.14

$$A = \frac{W}{C * P_1 * K_d * K_b} * \sqrt{\frac{Z * T}{M}}$$

donde:

A = área efectiva requerida para descarga (in²)

W = flujo requerido basado en el caso controlador de sobrepresión(lb/hr).

C = Coeficiente determinado de la relación de calores específicos, k, del fluido, donde:

$$C = 520 * \sqrt{k * \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k+1}{k-1} \right)}}$$

K_d = Coeficiente efectivo de descarga. Usar 0.975 (recomendado por API) a menos que se conozca K_d y se debe chequear el dimensionamiento cuando se conozca el valor real de K_d (e.g., algunas válvulas Anderson Greenwood operadas por piloto K_d = 0.86).

El coeficiente efectivo de descarga puede variar según sea el proveedor y el diseño de la válvula. Los números usados en el cálculo se le proporcionan al fabricante quien debe hacer la selección de la válvula requerida basado en capacidades de flujo reales mediante los requerimientos del código ASME.

P_1 = Presión antes de la válvula (PSIA). Es la presión manométrica de ajuste más la sobrepresión permisible más la presión atmosférica, psia. (ver Tabla I)

Z = Factor de compresibilidad, evaluado a las condiciones de relevo.

T = Temperatura de relevo antes de la válvula ($^{\circ}R$).

M = Peso Molecular.

K_b = Factor de corrección por Capacidad debido a la contrapresión total.

(a) Válvula convencional, $K_b = 1.0$. la contrapresión variable debe ser menor o igual que un porcentaje permisible (normalmente 10%) de la presión de ajuste.

(b) Válvula Balancada. Si la contrapresión total es menor o igual a 30% de la presión de ajuste, $K_b = 1.0$. si la contrapresión total es mayor que 30% de la presión de ajuste, normalmente, la contrapresión total está limitada a menos del 50% de la presión de ajuste debido al diseño mecánico de los fuelles.

(c) Válvula de alivio operada por piloto, $K_b = 1.0$

(la contrapresión total es menor o igual a $P_c f$)

Válvulas de alivio en servicios para vapor.

Ec. 3.15

$$A = \frac{W}{515 * P_1 * K_d * K_n * K_{sh}}$$

Donde:

A = Area efectiva de descarga (in²)

W = Flujo requerido. (lb/hr)

P_1 = Presión antes de la válvula (PSIA). Esta es la presión de ajuste más la sobrepresión permisible más la presión atmosférica, psia. (ver Tabla I)

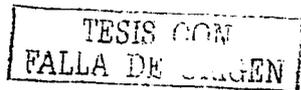
K_d = Coeficiente efectivo de descarga. Usar 0.975 o el valor recomendado por el fabricante.

K_n = Factor de corrección para la ecuación de Napier.

= 1, donde P_1 es menor que o igual a 1515 PSIA

$$= \frac{0.1906 * P_1 - 1000}{0.2292 * P_1 - 1061}$$

donde P_1 es mayor que 1515 PSIA y menor que o igual a 3215 PSIA



K_{sh} = Factor de corrección para vapor sobrecalentado. Para vapor saturado a cualquier presión, $K_{sh}=1.0$.

Los factores de corrección para presión y temperatura que no estén tabulados pueden determinarse por interpolación si se desea, sin embargo es práctico seleccionar el factor de acuerdo al valor de temperatura próximo alto tabulado, cercano al nivel de presión. Los factores de corrección para sobrecalentamiento varían según el fabricante debido a que este factor depende del diseño mecánico de la válvula.

Válvulas de alivio para servicio con vapor de agua.

El área requerida para relevo de vapor de agua se calcula a partir de la siguiente ecuación y se aplica par válvulas de seguridad tipo boquilla. Es práctica de ingeniería usar únicamente válvulas de tipo boquilla en servicio de generación de vapor.

Ec. 3.16

$$A = \frac{W}{51.45 * P_1 * K_d * K_n * K_{sh} * 0.90}$$

donde:

A = Área efectiva de descarga (sq in.)

W = Flujo requerido(lb/hr)

P_1 = Presión antes de la válvula (PSIA). Esta es la presión de ajuste más la sobrepresión permisible mas la presión atmosférica (psia). (ver Tabla I)

K_d = Coeficiente efectivo de descarga. Usar 0.975 o el valor recomendado por el fabricante.

K_n = Factor de corrección para la ecuación de Napier.

= 1 donde $P_1 < 0 = 1515$ PSIA

$$= \frac{0.1906 * P_1 - 1000}{0.2292 * P_1 - 1061}$$

donde P_1 mayor que 1515 PSIA y menor o igual a 3215 PSIA.

K_{sh} = factor de corrección para vapor sobrecalentado. Para vapor saturado a cualquier presión, $K_{sh}=1.0$.

Los factores de corrección para presión y temperatura que no estén tabulados pueden determinarse por interpolación si se desea, sin embargo es práctico seleccionar el factor de acuerdo al valor de temperatura próximo alto tabulado,

cercano al nivel de presión. Los factores de corrección para sobrecalentamiento varían según el fabricante debido a que este factor depende de diseño mecánico de la válvula.

Cuando se dimensionan dos válvulas de diferentes tamaños montadas individualmente sobre el generador de vapor, la capacidad de relevo de la válvula más pequeña no debe ser menor de 50% de la capacidad para la válvula más grande.

3.8 Dimensionamiento para flujo Sub-Crítico

Referirse a procedimientos descritos para dimensionar válvulas de alivio para servicio con vapor o gas. El flujo subcrítico es común para los siguientes casos:

Cuando la presión de ajuste de una válvula es 15 PSIG o menor y ésta descarga a la atmósfera (cero contrapresión).

Cuando la contrapresión en una válvula de alivio es mayor que 50% de su máxima presión de relevo.

3.9 dimensionamiento para relevo de líquido

Usar la siguiente fórmula para válvulas de alivio en servicio con líquido:

Ec. 3.17

$$A = \frac{\text{GPM}}{38 * K_d * K_w * K_v} * \sqrt{\frac{\text{SG}}{P_1 - P_2}}$$

Donde:

SG= Gravedad específica del líquido a la temperatura de flujo.

GPM = Flujo requerido, en gpm, a la temperatura de flujo basado en el caso controlador de sobrepresión.

A= Area efectiva requerida (in²).

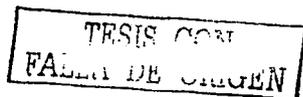
Kd = Coeficiente de descarga de la válvula, usar 0.65 si no se dispone datos del vendedor.

P1 = Presión de relevo, (Psia). Esta es la presión de ajuste más la sobrepresión permisible más la presión atmosférica (psia). (Ver la tabla 1)

P2 = Contrapresión total, (Psia).

Kv = Factor de corrección debido a la contrapresión, si la contrapresión es la presión atmosférica, el factor puede no considerarse o Kv = 1.00, para válvulas convencionales en servicio con contrapresión (Pb <= porcentaje permisible de Ps, normalmente 100%) no se requiere corrección especial y Kw = 1.00, para válvulas de fuelles en servicio con contrapresión se requerirá el factor de corrección.

Kv = Factor de corrección debido a la viscosidad (valor tomado del estándar API). Para más aplicaciones, la viscosidad no es significativa (cuando el número de Reynolds, es mayor o igual a 60,000, Kv = 1.00).



3.10 Dimensionamiento por flujo a dos fases.

Pueden ser usados dos diferentes procedimientos de cálculo para especificar válvulas con flujo a dos fases. El método estándar es para comparar los resultados de los dos procedimientos y basar el diseño en el resultado más conservativo. Los procedimientos son el API estándar y el método basado en DIERS, comúnmente llamado el método omega. Ambos métodos requieren datos generados mediante cálculos de flash.

3.10.1 Método conforme al API.

Mediante el cálculo de un flash isoentálpico a partir de las condiciones de relevo para la presión crítica de la corriente o la contrapresión (la presión que sea más grande). Dimensionar el área para el vapor generado. Dimensionar el área requerida para el líquido con $P_2 =$ contrapresión, no la presión crítica. Sumar las dos áreas para obtener el área del orificio requerido para la PRV.

3.10.2 Método Omega

- (a) Líquido con flash (i.e saturado a su punto de burbuja o no subenfriado) o produciendo dos fases a la entrada de la PRV.
- (1) Mediante el cálculo de un flash isoentálpico a partir de las condiciones de alivio para una presión después de la válvula P_x , donde:

$$P_x = 0.8 \times P_1.$$

Y P_1 es la presión antes de la válvula de alivio, (psia)

- (2) Calcular omega:

Ec. 3.18

$$\omega = \frac{\frac{v_x}{P_x} - 1}{\frac{v_1}{P_1} - 1}$$

donde:

ω = Parámetro de correlación, adimensional

v_x = Volumen específico total a condiciones P_x , pie³/lb (si existen dos fases usar mezcla homogénea)

v_1 = Volumen específico total a condiciones P_1 pie³/lb (si existen dos fases, usar mezcla homogénea)

- (3) Calcular la relación de presión crítica:

Ec. 3.19



$$\frac{P_c}{P_1} = 0.55 + 0.217 * \ln \omega - 0.046 * (\ln \omega)^2 + 0.004 * (\ln \omega)^3$$

donde:

P_c = Presión crítica de las dos fases, psia

si $P_c < P_2$, donde P_2 es la contrapresión total, (psia), si el flujo no es tipo tapón, proceder con el paso (4).

Si $P_c > P_2$, si el flujo es tipo tapón, proceder con el paso (5) para la ecuación simplificada.

(4) Calcular el flux másico (sustituir P_c para P_2 si el flujo es tipo tapón).

Ec. 3.20

$$G = \frac{1702 * \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} * -2 * \left[\omega * \ln \frac{P_2}{P_1} + (\omega - 1) * \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right) \right]}{\omega * \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) + 1}$$

Donde G = flujo másico, lb/hr-pulg²

(5) Para flujo tipo tapón, calcular el flujo másico:

Si omega > ó = 4.0:

Ec. 3.21

$$G = 1702 * \sqrt{\frac{P_1}{v_1 * \omega}} * \left[0.6055 + 0.1356 * \ln \omega - 0.0131 * (\ln \omega)^2 \right]$$

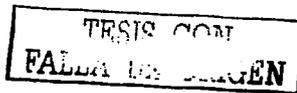
Si omega > 1.0 y < 4.0:

Ec. 3.22

$$G = 1123 * \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} * \omega^{0.39}$$

Donde G= flujo másico, lb/hr-pulg²

(6) Calcular el área del orificio para la PRV:



Ec. 3.23

$$A = \frac{W}{G * K_d}$$

Donde:

A = Area efectiva de descarga, pulg²

W = Flujo requerido, lb/hr

K_d = Coeficiente efectivo de descarga; usar el coeficiente del vapor si la fracción volumen del vapor es mayor que la fracción volumen del líquido a las condiciones de la entrada de la PRV, de otra manera usar el coeficiente del líquido (vapor = 0.975 y líquido = 0.65 a menos que se conozca el valor recomendado por el fabricante).

(b) Flujo a dos fases sin vaporización a la entrada de la PRV.

(1) Calcular omega:

Ec. 3.24a

$$\omega = \alpha_1$$

Ec. 3.24b

$$\alpha_1 = x_1 * \frac{v_{g1}}{v_1}$$

Donde:

ω = Parámetro de correlación, adimensional.

α₁ = Fracción volumen del vapor a la entrada de la PRV.

x₁ = Fracción masa del vapor a la entrada de la PRV.

v_{g1} = Volumen específico del vapor a la entrada de PRV, pie³/lb.

v₁ = Volumen específico total a la entrada de la PRV pie³/lb (usar mezcla homogénea).

(2) Calcular la relación de presión crítica:

Ec. 3.25

$$\left(\frac{P_c}{P_1}\right)^2 + (\omega^2 - 2*\omega) * \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_1}\right)\right]^2 + 2*\omega^2 * \ln\left(\frac{P_c}{P_1}\right) + 2*\omega^2 * \left(1 - \frac{P_c}{P_1}\right) = 0$$

Si P_c < P₂, el flujo no es tipo tapón.

Si P_c > P₂, el flujo es tipo tapón.

Referirse al inciso (a) (4) y continuar, se debe usar la Ec. 3.20 para calcular el flujo másico si omega es menor que 1.0

(c) Líquido subenfriado en la entrada de la PRV

- (1) Mediante un cálculo de flash para las condiciones de punto de burbuja basado en T1, donde T1 es la temperatura de relevo (P) y la fracción de vapor es = 0 (punto de burbuja), para obtener las condiciones aproximadas al punto de relevo, hacer un cálculo de flash con T1 y fracción de vapor = 0.001.
- (2) Calcular omega s:

Ec. 3.26

$$\omega_s = 0.185 * \frac{C_p * T_1 * P_s}{v_{f1}} * \left(\frac{v_{fg1}}{h_{fg1}} \right)^2$$

Donde:

ω_s = Parámetro de correlación de saturación, adimensional

C_p = Calor específico del líquido a la entrada de la PRV

T_1 = Temperatura a la entrada de la PRV.

P_s = Presión del punto de burbuja a T1 (psia).

v_n = Volumen específico del líquido a la entrada de la PRV pic3/lb.

v_{gt} = Volumen específico del vapor menos la entalpía a las condiciones del punto de burbuja (pic3/lb)

h_{gt} = Entalpía del vapor menos entalpía del líquido a las condiciones del punto de burbuja (pic3/lb)

- (3) Checar la relación de presión:

Si :

$$\frac{P_s}{P_1} \geq \frac{2 * \omega_s}{1 + 2 * \omega_s}$$

Donde P1 es la presión antes de la válvula (psia) continuar con el paso (4)

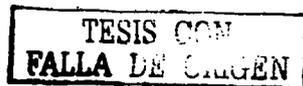
si:

$$\frac{P_s}{P_1} < \frac{2 * \omega_s}{1 + 2 * \omega_s}$$

Usar la Ec. 3.17 con $P_2 = P_s$, si P_s es mayor que P_2 para calcular A, también, si se requiere para el caso de flujo combinado, usar lo siguiente para calcular G_v (referirse a la sección (d))

$$G_v = G = \frac{W}{A * K_d}$$

- (4) calcular el flujo másico.



Ec. 3.27

$$G = 1702 * \sqrt{\frac{P_1}{v_1} * \left(2 * \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right) + 2 * \left[\omega_s * \frac{P_2}{P_1} * \ln \frac{P_2}{P} - (\omega_s - 1) * \left(\frac{P_2}{P_1} - \frac{P}{P_1} \right) \right] \right)}$$

$$\omega_s = \left(\frac{P_2}{P} - 1 \right) + 1$$

Donde P es la mayor de P_c ó P₂ (psia) y P se calcula como sigue:

Ec. 3.28

$$\frac{\omega_s + \frac{1}{2} - 2}{2 * \frac{P_2}{P_1}} * \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 - 2 * (\omega_s - 1) * \frac{P_c}{P_1} + \omega_s * \frac{P_2}{P_1} * \ln \frac{P_c}{P_2} + 1.5 * \omega_s * \frac{P_2}{P_1} - 1 = 0$$

Referirse al inciso (a) (6) y continuar.

(d) Flujo híbrido (i.e líquido subenfriado, líquido flasheando, o flujo a dos fase con vaporización más gas no condensable) a la entrada de la PRV.

(1) Calcular el flujo másico:

Ec. 3.29

$$G = \sqrt{y_{g1} * G_g^2 + (1 - y_{g1}) * G_v^2}$$

donde:

y_{g1} = Fracción molar de entrada del gas no condensable.

G_g = Flujo másico correspondiente a un sistema de flujo sin flash, referirse al inciso (b) y calcular G_g correspondiente.

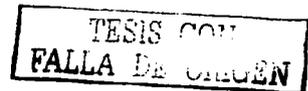
G_v = flujo másico correspondiente a un sistema con flash, referirse al inciso (a) o (c), dependiendo de si la porción de líquido está subenfriada o no, y calcular G_v correspondiente.

Referirse al inciso (a) (6) y continuar.

3.10.3 Línea de entrada.

La línea de entrada se dimensiona usando la capacidad especificada de la PRV y procedimientos normales para dos fases o una sola fase, el que sea apropiado.

3.10.4 línea de descarga.



Mediante un segundo cálculo flash a partir de la presión crítica antes de la válvula o con el valor de la contrapresión, (la que sea mayor), usar el flujo real de alivio (el área del orificio seleccionado dividido por el área de orificio requerido multiplicado por el flujo de alivio) y el resultado de éste flash para dimensionar la línea de descarga de la PRV, checar la contrapresión usada en el cálculo original de flash.

3.11 Dimensionamiento de la línea de entrada.

3.11.1 Limitaciones de pérdidas de presión.

El total acumulativo de las pérdidas no recuperables de presión de entrada deben ser menores del 3% de la presión de ajuste manométrica, desde el equipo protegido a la conexión de entrada de la válvula de alivio, ésta previsión aplica a todas las válvulas según el código ASME sección VIII, incluyendo las válvulas estándares operadas con piloto, con el punto del sensor de presión localizado en la boquilla principal de entrada de la válvula.

Si la entrada de una PRV se conecta directamente a la boquilla de un recipiente/cambiador, debe tomarse una cabeza velocidad de 1.0 como la pérdida de presión total causada por la entrada a la PRV por la boquilla del recipiente/cambiador, una entrada aguda. La cabeza velocidad de 1.0 usada normalmente para pérdidas por aceleración se recupera parcialmente en la entrada de la PRV. Por lo tanto, la cabeza total de velocidad 1.0 está considerada conservativamente.

Si la PRV se conecta a un sistema de tubería que se origina desde un recipiente/cambiador protegido, se debe tomar una cabeza velocidad de 0.5 como las pérdidas totales de presión causadas por la entrada del sistema de tubería desde la boquilla del recipiente/cambiador, la pérdida por fricción de 0.5 cabeza velocidad está basada en una entrada aguda por lo que es un valor conservativo, las pérdidas por aceleración se consideran por la inclusión de las pérdidas a través de una te recta en todas las derivaciones que se requieran para alcanzar la PRV.

3.11.2 Flujo de entrada.

Para flujo compresible, la capacidad de la válvula, usada para determinar las pérdidas de presión se define como la capacidad certificada (real) de la válvula corregida por las características del fluido y puede ser estimada como sigue:

$$\text{Capacidad Total} = \frac{\text{W calculado} \times \text{Área Total seleccionada}}{\text{Área Total}}$$

Ec. 3.30

El código API requiere que las pérdidas de presión sean basadas en la "capacidad para la válvula, valor que está en la placa de identificación de la válvula, corregida por las características del fluido" La capacidad estimada de la válvula



se usa para propósitos de cálculos iniciales antes de conocer la "capacidad de la placa de identificación". Para gas o vapor diferente al vapor de agua:

$$\text{Capacidad de la placa de identificación (especificada al 90\%)} = C \cdot (0.9 \cdot K_d) \cdot A_a \cdot P_1 \cdot (M/Z \cdot T)^{0.5} \quad \text{Ec. 3.31}$$

Donde:

K_d = Coeficiente real de descarga determinada por las pruebas de flujo.

$C = 0.9 \cdot K_a$ = Coeficiente ASME del diseño y se usa junto con A_a para determinar la capacidad de placa.

A_a = Área de descarga real (área conforme al código ASME) a través de la válvula determinado por las pruebas de flujo a P_1 .

Generalmente, los fabricantes diseñan las válvulas de modo que el coeficiente publicado por ellos o (código API) usado junto con los cálculos estándares API, satisfagan los requerimientos de capacidad del código ASME (es decir A_a de los fabricantes es tal que $K \cdot A_a$ es mayor o igual que $K_d \cdot A$). La capacidad de la placa se determina por la ecuación 3.19 o por tablas de capacidad de los fabricantes, ajustadas por las características del fluido, la presión de relevo (P_1) según el código ASME se basa en el 10% de sobrepresión. La capacidad de relevo puede prorratearse para sobre presiones mayores que el 10%, multiplicando la capacidad de la placa ASME por la P_{max}/P_1 (PSIA). Los cálculos de las pérdidas en la entrada debe chequearse después de que la capacidad de placa y el rúteo de tubería real se conozcan.

3.11.3 Pérdidas a la entrada de válvulas operadas por piloto.

Pérdidas de presión de entrada más altas pueden tolerarse si el piloto de la válvula sensa el sistema de presión en un punto que no es afectado por las características de flujo, sin embargo, el incremento de pérdidas de presión debe chequearse de modo que la presión de alivio en la válvula no disminuya el flujo requerido. La presión acumulada en el equipo protegido no excederá el límite permisible si se satisface éste requerimiento.

Para servicio de gas o vapor, distinto al vapor de agua, usar la Ec. 3.2 para determinar la presión mínima permisible en la entrada (P_1) de la válvula. Usar K_d y el área de flujo total seleccionado conforme al estándar API en la ecuación. Z, W, C, T y M se mantienen igual. La caída de presión máxima permisible en el sistema es igual a 1.1 la presión de ajuste más la presión atmosférica (psia) menos P_1 .

3.12 Dimensionamiento de la línea de descarga.

Referirse al capítulo 6 para los métodos usados en el dimensionamiento del sistema del ramal de descarga y el cabezal.

TABLA I

P1 = Presión máxima de relevo antes de la válvula (psia).

P = Presión de ajuste (Sistema de una sola válvula), psig

Pf = Presión de ajuste menor (Sistema de válvulas Múltiples), psig

Ph = Presión de ajuste mayor (Para sistemas de válvulas Múltiples), psig

Pa = Presión Atmosférica (psia).

CASO	Ecuaciones 3.14, 3.15, y 3.17		Ecuación 3.16
	ASME Sección VIII (Recipientes)	ASME B31.3 (Tubería)	ASME Sección I, ASME B31.1 (Generadores de vapor y tubería)
Válvula Única	$P \leq \text{MAWP}$	$P \leq \text{Presión de disco especificada}$ (Nota 2)	$P \leq \text{MAWP}$
	$P1 = 1.1 * \text{MAWP} + Pa$ (Nota 4)	$P1 = 1.33 * \text{MAWP} + Pa$	$P1 = 1.06 * \text{MAWP} + Pa$
Válvulas múltiples	$Pf \leq \text{MAWP}$		$Pf \leq \text{MAWP}$
	$Ph \leq 1.05 * \text{MAWP}$		$Ph \leq 1.03 * \text{MAWP}$
	$P1 = 1.16 * \text{MAWP} + Pa$ (Nota 5)		$P1 = 1.06 * \text{MAWP} + Pa$ (Nota 3)
Caso Fuego solamente – Válvula Única (Nota 1)	$P \leq \text{MAWP}$		
	$P1 = 1.21 * \text{MAWP} + Pa$		
Caso Fuego solamente – Válvulas múltiples (Nota 1)	$Pf \leq \text{MAWP}$		
	$Ph \leq 1.1 * \text{MAWP}$		
	$P1 = 1.21 * \text{MAWP} + Pa$		

Notas:

1. Si se usa un sistema de una o válvulas múltiples para ambos casos, a fuego directo ó no, el 21% de acumulación aplica para el caso a fuego directo solamente. El 10% de acumulación (para válvula única) y 16% de acumulación (para válvulas múltiples) aplica para casos que no son a fuego directo. Si se requiere una válvula suplementaria para casos que son a fuego directo solamente y todos los flujos de relevo de otros casos son satisfechos por las otras válvulas, puede usarse el 1.1 * (MAWP) de la presión de ajuste y el 21% de acumulación para la válvula suplementaria.
2. Para expansión hidráulica únicamente, si se requiere por circunstancias especiales y son aprobadas por el cliente, $P=1.2$ *(presión de diseño específica) o presión de prueba, la que sea menor, como está permitido por el código ASME B31.3 para sistemas de tubería.
3. Las válvulas de alivio para calderas están diseñadas y construidas para operar sin golpeteo y alcanzar apertura completa a una presión no mayor del 3% por encima de su presión de ajuste. La capacidad certificada de la válvula se basa en éste criterio.
4. $P1 = MAWP + 3$ psi si MAWP está entre 15 y 30 psig para la instalación de una única válvula(caso que no es a fuego directo).
5. $P1 = MAWP + 4$ psig si MAWP está entre 15 y 25 psig para instalación de válvulas múltiples (caso que no es a fuego directo).

3.13 Discos de ruptura.

3.13.1 Dispositivo de relevo primario.

- (a) Si el disco de ruptura es parte de un sistema de entrada o salida, la resistencia al flujo del disco es $Kr = 2.4$ *cabeza velocidad de acuerdo al código ASME, y el método apropiado se aplica para dimensionar la línea para el flujo de relevo requerido dividido por 0.9 según el código ASME con P1 en el equipo protegido menor que o igual a la presión de relevo. El tamaño del disco de ruptura será el tamaño de la línea calculada. Sin embargo se debe consultar la información proporcionada por el fabricante.
- (b) Si el disco de ruptura se instala en una tubería corta (dentro de 8 diámetros de tubería desde la boquilla del recipiente y con una descarga a la atmósfera no mayor de 5 diámetros de tubería desde el disco de ruptura, según el código ASME) el cual tiene un efecto de pérdida de presión despreciable, usar las ecuaciones de dimensionamiento de las válvulas de alivio (capítulo 6) con $Kd = 0.62$ para calcular el área de descarga requerida. El tamaño del disco de ruptura será el tamaño nominal de la tubería cuya área es igual a o mayor que el área requerida.

3.13.2 En combinación con una válvula de alivio.

El tamaño del disco de ruptura es el tamaño de la línea de entrada o de salida de la válvula de alivio. Si el disco de ruptura está en la línea de entrada, usar un factor de corrección por capacidad de 0.9, a menos que se conozca el factor combinado de capacidad para dimensionar la válvula de alivio. Usar un flujo de resistencia de $K_r = 2.4$ cabezas velocidad para calcular las pérdidas de presión de entrada o de salida. El fabricante del disco de ruptura debe consultarse si se requiere una pérdida de presión más exacta.

3.14 Fuerzas de reacción.

3.14.1 Bases para diseño mecánico.

La descarga de una válvula de alivio impondrá una fuerza impulsiva sobre el sistema causada por el momentum y los efectos de presión del flujo.

3.14.2 Sistema abierto de descarga

Los siguientes datos deben ser calculados o determinados como se muestra:

(a)

Ec. 3.32

$$V_e = \frac{144 * W}{\rho_e * A_e}$$

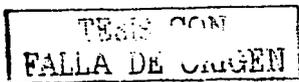
Si V_e es mayor que V_s , entonces $V_a = V_e$, donde

$$V_s = 223 * (k * T / M)^{0.5}$$

(b)

$$P_a = 14.7 \text{ PSIA si } V_e < V_s = V_s$$

$$P_a = (V_e / V_s) * 14.7 \text{ PSIA si } V_e > V_s$$



3.14.3 Sistema cerrado de descarga

Los siguientes datos deben ser calculados o determinados como se muestra:

$$V_f = 144 * W / (\rho_f * A_f)$$

Ec. 3.33

Si V_f es mayor que V_s , entonces $V_f = V_s$, donde:

$$V_s = 223 * (k * T / M)^{0.5}$$

Los términos usados en la ecuaciones anteriores se definen como sigue:

W = Flujo, basado en la capacidad máxima de la válvula (lb/sec).

V_s = Velocidad a la salida de la tubería, ft/sec

V_f = velocidad a la presión en la brida de salida de la válvula, ft/sec

ρ_s = Densidad a la salida de la tubería, (lb/pic³) basado en las condiciones de salida con presión de salida supuesta = presión atmosférica (psia).

ρ_f = Densidad a la presión en la brida de salida de la válvula, (lb/pic³) en base a la contrapresión calculada en el sistema en la brida de salida de la válvula, suponiendo presión mínima en el cabezal para el sistema cerrado de descarga (es decir no están relevando otras fuentes y el sistema de descarga cerrado está a su mínima contrapresión superimpuesta, generalmente supuesta como 0 PSIG).

A_s = Área de la sección transversal de la tubería de salida, pulg² con base en el diámetro interior.

A_f = Área de sección transversal en la brida de salida de la válvula, pulg² con base en el diámetro interior.

P_s = Presión estática en la tubería de salida, PSIA

V_s = Velocidad sónica, ft/sec

k = Relación de calores específicos Cp/Cv, adimensionales.

M = Peso molecular.

T = Temperatura máxima de relevo, se supone flujo isotérmico, por lo tanto ésta es también la temperatura de la tubería de salida (sistema de descarga abierto) ó la temperatura en la brida de descarga de la válvula (sistema cerrado de descarga).

CAPITULO 4
SELECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO

4.1 INTRODUCCION

Una vez que el sistema está definido, y están determinadas las posibles causas de sobrepresión en el sistema, se puede continuar con la especificación del tipo de dispositivos de alivio. Generalmente ésta selección se basa únicamente en la presión disponible de la carga a relevar hacia el sistema de descarga. Ocasionalmente la localización física del dispositivo de alivio o la corrosividad relativa o ensuciamiento del fluido de proceso afecta la selección. Se disponen tres tipos de válvulas de alivio.

4.2 Tipos de válvulas

4.2.1 Convencional

Las PRV's tipo convencional son consideradas las "workhorse" de la industria. La vasta mayoría de válvulas utilizadas para la protección de sobrepresión son de éste tipo, las válvulas convencionales son las más simples en diseño y requieren el menor mantenimiento. Sin embargo, hay limitantes para su uso y ciertas condiciones donde son colocadas reducen su efectividad. Debido a que las PRV's son dispositivos diferenciales, las características físicas de la válvula deben encajar con los perfiles dinámicos de presión en el sistema.

Una vez que la causa de sobrepresión es eliminada en un sistema, con una válvula abierta y descargando, la presión antes de la válvula se reduce, las válvulas convencionales cierran entre un 5 y 7% por debajo de su punto de ajuste. Así la caída de presión en la entrada de la válvula debe ser limitada. Si la presión de entrada excede el punto de cierre, la válvula rápidamente abre o cierra o golpetea. Lo cual puede dañar la válvula, pero lo más importante, puede reducir grandemente la capacidad esperada. Porque el porcentaje real de cierre variará de válvula a válvula, la caída de presión en la entrada de la válvula debe limitarse a un 3% de la presión de ajuste.

Como solo la presión variable antes de la válvula puede afectar su operación, la contrapresión variable en el lado de salida de la válvula, normalmente el resorte y el peso de los componentes (más la contrapresión superimpuesta), son las únicas fuerzas que mantienen la válvula cerrada. Cuando la válvula abre, el fluido causará un incremento en la presión en la línea de salida, esta presión variable se unirá a la fuerza del resorte de la válvula para intentar cerrar la válvula. Si se permite ir demasiado alto, la contrapresión variable cerrará la válvula prematuramente y por lo tanto reducirá su capacidad. La contrapresión total debe ser limitada a un porcentaje de la presión de ajuste igual al porcentaje de sobrepresión permisible (generalmente 10%) cuando se usa una válvula convencional. Es muy importante distinguir entre contrapresión variable y contrapresión constante, contrapresión constante es la presión superimpuesta que existe antes de que la válvula abre, la contrapresión variable puede incluir variaciones en la contrapresión superimpuesta causada por cambios en el flujo de otras válvulas que estén descargando y el incremento en la contrapresión causada por la válvula que está descargando.

4.2.2 De Fuelles.

En algunas instalaciones puede no ser posible o económicamente factible limitar la contrapresión variable a una cantidad requerida por una válvula convencional, las razones para usar una válvula de fuelles es reducir el tamaño del sistema de descarga (o reducir la presión de diseño requerida para los equipos, necesaria para relevar a un sistema cerrado) o prevenir corrosión de las superficies dentro de los componentes de la válvula. Como para una válvula convencional, las pérdidas de presión de entrada deben ser limitadas a un 3% de la presión de ajuste. Sin embargo, en servicio de gas o vapor la contrapresión puede permitir elevarse a un 30% o un porcentaje más alto de la presión de ajuste dependiendo del proveedor de la válvula sin reducción de capacidad, un diafragma de metal corrugado (o fuelles) se instala el cual balancea efectivamente y minimiza los efectos durante la descarga y elimina los efectos de contrapresión (constante o variable) al abrir.

Los dos tipos básicos de válvulas de fuelles son la de fuelles balanceados y la de fuelles balanceados con pistón auxiliar de balance. La práctica estándar es usar la de fuelles balanceados.

Cuando la válvula abre, el fuelle se comprime y el espacio de vapor en el bonete de la válvula se expela a través del orificio de venteo hacia la atmósfera. Inversamente cuando la válvula cierra, el aire de la atmósfera regresa hacia el bonete. Para que funcione apropiadamente, el venteo del bonete debe estar siempre abierto a la atmósfera, ya sea directamente o con tubería hacia un lugar seguro independientemente del sistema de descarga de la válvula.

Una característica adicional de un diseño de fuelles es que el resorte, guía, bonete etc. está aislado del fluido de relevo y del fluido contenido en el sistema de descarga. Esto es importante si el fluido se considera corrosivo.

Como todo diseño mecánico, hay límites y riesgos potenciales para su uso, algunas desventajas que se deben de considerar antes de su aplicación son las siguientes:

- (a) Debido a que los fuelles se deben de expandir y contraer conforme la válvula abre o se reajusta, cualquier condición que pueda inhibir este movimiento afectará la capacidad de la válvula. Coking, ensuciamiento, polimerización, o fluidos viscosos podrían llenar el espacio entre los dobleces e inhibir la apertura de la válvula.
- (b) Una excesiva cantidad de contrapresión podría romper los fuelles, o bien para climas fríos, los fluidos que se congelan en la descarga podrían causar daño.
- (c) Si hay una fuga en los fuelles durante el servicio, la contrapresión variable se adiciona directamente a la presión de ajuste de la válvula (es decir tendremos ahora esencialmente una válvula convencional).
- (d) Considerar si unos fuelles con fuga de líquidos de proceso o gases hacia el quemador y que van ahora directamente a la atmósfera son productos tóxicos o peligrosos.

4.2.3 Operada por piloto.

Las válvulas operadas por piloto pueden ser usadas cuando la contrapresión es hasta 50% de la presión de relieve en aplicaciones de flujo crítico. Una contrapresión constante o variable no tiene efecto en la presión de ajuste. La válvula principal se combina con y está controlada por un piloto auxiliar, el cual sensa la presión en la entrada de la válvula bajo condiciones estáticas o de flujo. Las limitaciones de pérdidas son las mismas para las válvulas convencionales si se especifica el sensor integral de presión en la válvula. Se toleran presiones más altas en la entrada de la válvula si el piloto de la válvula sensa la presión en un punto remoto que no es afectado por las características de flujo en la entrada de la válvula.

Características adicionales a este tipo de válvula incluye; la no fuga en operación a presiones cercanas a la presión de ajuste, reajuste firme después un cierre corto, y operación consistente a la misma presión. Con válvulas convencionales, se requiere un incremento de 10% o 10 psi mínimo adicionado a la presión normal de operación, si se requiere que con la presión de ajuste se tenga resistencia segura en contra de fuga prematura se permite un 5% de incremento para válvulas operadas por piloto en servicio de vapor limpio si el material blando de la válvula es compatible con el fluido, así, puede ser posible alcanzarse un ahorro sobre el costo del recipiente cuando se involucran presiones de operación altas usando una válvula de alivio operada por piloto y una baja presión de diseño.

En general las válvulas operadas por piloto solo deben emplearse en servicios relativamente limpios. Con el fin de alcanzar el funcionamiento asociado con el diseño de ésta válvula, el piloto es diseñado con tolerancias mínimas. Los pequeños orificios pueden taponarse si se usa con fluidos sucios, las válvulas de piloto fueron originalmente desarrolladas para servicios de vapor pero ahora están disponibles para servicios con líquidos. Se requiere un estudio del fluido para determinar la posibilidad de condensarse, congelarse, ensuciamiento, etc.

4.3 Especificación de la válvula.

La función de ésta metodología es:

Para predeterminar los tamaños de las bridas de entrada y salida de modo que en el diagrama se refleje las reducciones requeridas y los detalles.

Para ayudar a la selección de los materiales de construcción.

Para permitir que el grupo de diseño de tuberías realice los isométricos basados en los datos dimensionales indicados para los tamaños de las válvulas.

La selección se llevará a cabo a partir de las gráficas de los estándares de ingeniería, excepto donde aplique los catálogos de los proveedores, pero en ningún caso la selección será menor que la especificación de la tubería en la que la válvula está montada.

(a) Área del orificio.

Una vez que la válvula ha sido dimensionada, el área del orificio calculada será igual o menor que el área del orificio seleccionada de los estándares de ingeniería.

(b) Rango y cara de bridas.

- (1) El rango de las bridas, por práctica estándar, se basa en la temperatura de diseño del sistema y la presión de diseño.
- (2) Las válvulas bridadas montadas directamente sobre la boquilla del recipiente (sin tubería o accesorios entre la válvula y el recipiente) deben tener las bridas seleccionadas de acuerdo al recipiente. Si son incompatibles, el rango común será el mayor de los dos.
- (3) Generalmente, no se deben seleccionar válvulas bridadas menores que las listadas en el estándar. Sin embargo, pueden usarse válvulas roscadas para alivio térmico y otros servicios.

(c) Resorte.

- (1) La selección del material para el resorte, por práctica estándar, se basa en la más alta temperatura sin considerar el caso de fuego o bien sobre la temperatura de diseño del sistema.
- (2) La válvula de alivio en servicio de gas amargo, se debe proveer de resorte especial para minimizar el rompimiento del resorte debido a corrosión.

(d) Material del cuerpo e internos.

La selección de material del cuerpo de la válvula por práctica estándar, se basa en la temperatura de alivio más alta sin considerar el caso de fuego o bien sobre la temperatura de diseño del sistema.

Se debe checar para asegurarse que los materiales de construcción de la válvula de alivio son los adecuados para cualquier baja temperatura que ocurra durante el relevo.

4.4 Discos de ruptura

Se pueden usar los catálogos de proveedor como una fuente de información para la aplicación de discos de ruptura, dimensionamiento y especificación.

4.4.1 Dispositivo de alivio primario.

A menos que se especifique por el cliente, los discos de ruptura deben ser usados como dispositivos primarios de alivio solamente si el uso de válvula de alivio no es factible, algunos ejemplos de esas situaciones son:

- (a) Rápidas elevaciones de presión. Un sistema de válvula de alivio no reacciona lo suficiente rápido o no puede ser lo suficiente grande para evitar sobrepresión, por ejemplo la ruptura de tubos en un cambiador.
- (b) Mayor área de alivio requerida, debido a flujos extremadamente grandes y/o baja presión de alivio, previendo que el área requerida de alivio con un sistema de válvula de alivio no es práctico.
- (c) Un sistema con válvula de alivio es susceptible de taponarse, y por lo tanto inoperable, durante el servicio, ejemplo un recipiente de polimerización.

4.4.2 En combinación con una válvula de alivio

Es una práctica de diseño que el disco de ruptura no se instale en la entrada de la válvula de alivio o en la tubería de descarga.

- (a) Los discos de ruptura se deben considerar para la protección del sistema de la válvula de alivio por corrosión o servicios erosivos.
- (b) Los discos de ruptura deben considerarse para minimizar fugas de un fluido tóxico o peligroso.
- (c) A menos que se indique otra cosa directamente por el cliente, los discos de ruptura no se deben considerar, si su único propósito es minimizar fugas de fluidos valiosos. (razón económica, no razón técnica).

4.4.3 Tipo

El tipo de disco debe permitir de preferencia una presión de operación hasta el 90% de la presión de ruptura, debe ser no-fragmentable, y no debe reducir el área de descarga efectiva después de la ruptura.

4.4.4 Rango de manufactura

- (a) Cuando se usa un disco de ruptura en combinación con una válvula de alivio, especificar 0% rango de manufactura de modo que la presión de ruptura especificada del disco y la presión estampada de ruptura igualará la presión de ajuste estampada para la válvula de alivio.
- (b) Cuando un disco de ruptura es usado como único dispositivo primario, especificar el rango de manufactura de modo que el máximo del rango de manufactura no exceda la MAWP del equipo protegido y el rango mínimo de manufactura no se imponga sobre el margen por encima de la presión de operación normal máxima del equipo protegido. El rango de manufactura debe ser especificado para el lado "menos" de la presión de ruptura especificada si la presión de ruptura especificada es igual a la MAWP.

4.4.5 Temperatura

El disco de ruptura se selecciona para ruptura a una específica presión coincidente con temperatura donde este localizado. La temperatura de rompimiento especificada depende de la localización del disco y del diseño del sistema de entrada. La entrada de la mayoría de los sistemas del disco de ruptura está separada de la temperatura del proceso continuo por una porción de tubería no aislada. Una cantidad mínima (para la mayoría de los sistemas, 3 pies es adecuado) de tubería no aislada es suficiente para disipar el calor contenido de la línea de entrada sin flujo. Generalmente, a menos que el disco de ruptura sea de boquilla a boquilla sobre un recipiente de proceso, o localizado en un sistema con trazado, la temperatura de rompimiento puede ser especificada como la temperatura ambiente. Usar la temperatura ambiente promedio, si la cantidad de tubería disponible no aislada es menor de 3 pies, pero si la temperatura de proceso es extremadamente alta (mayor que 1000F) se requerirá un cálculo de temperatura mas preciso.

CAPITULO 5
LOCALIZACION E INSTALACION DE LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO

5.1 INTRODUCCION

En general las válvulas de alivio deben localizarse tan cerca como sea posible del equipo que se va a proteger, considerando el punto de ajuste, pérdidas a la entrada, y pérdidas en la descarga, deben montarse en posición vertical.

Las válvulas de alivio para servicios de vapor deben conectarse en el espacio de vapor del equipo que se va a proteger o tubería, las válvulas de alivio de líquido deben conectarse a la porción que contenga líquido en el equipo que se va a proteger o tubería.

El alcance de un sistema protegido por una válvula de alivio debe delimitarse, y el dispositivo de alivio relevará a una presión determinada por la presión de diseño del elemento más débil. La interpretación del código ASME sección VIII es que dos o más piezas de equipo pueden ser protegidas por un dispositivo común de alivio si el sistema de tubería de conexión no está bloqueado durante un posible escenario de sobrepresión. Por lo tanto, se permiten válvulas de bloqueo entre tal equipo si son de tipo locked open o car seal open.

Las pérdidas de presión entre el elemento más débil y la brida de entrada del dispositivo protector debe limitarse a 3% de la presión de ajuste inicial. Si ésta limitación no es práctica, se debe hacer consideración de relocalización del dispositivo, proviendo dispositivos separados, o usando una válvula operada por piloto con sensor de localización remota.

5.2 LOCALIZACION

5.2.1 Tanques que contienen vapor y sobrecalentadores.

Las válvulas de alivio de los tanques que contienen vapor se deben montar directamente sobre los tanques con una boquilla para cada válvula. Las válvulas para los sobrecalentadores deben localizarse una distancia mínima de la salida del sobrecalentador y directamente sobre la tubería de salida.

5.2.2 Otros recipientes.

A menos que se requiera de otra manera (por código de diseño o por el cliente), las válvulas de alivio deben localizarse en la línea de vapor de domos para torres, y en la línea de salida para otros recipientes. Si la válvula descarga a la atmósfera, se deben localizar generalmente cerca del domo de las torres, pero si descargan a un sistema cerrado, deben localizarse por conveniencia de mantenimiento y como se requiera para el diseño del sistema de cabezales al quemador.

5.3 Entrada.

Para sistemas especificados conforme al código ASME sección VIII, el tamaño nominal de conexión entre el equipo protegido y su válvula de alivio debe ser por lo menos tan grande como el tamaño nominal de la entrada de la válvula de alivio.

Para los sistemas especificados conforme al código ASME sección I, la conexión entre el equipo protegido y su válvula de alivio debe tener por lo menos el área de la entrada de la válvula.

Las dimensiones de válvulas de alivio soldables o bridadas pueden variar dependiendo del proveedor. Si la válvula se conecta directamente a la boquilla del tanque que contiene vapor, la boquilla del tanque debe ser especificada con base al diámetro interno de la entrada de la válvula, si la válvula se conecta directamente a la línea de salida del sobrecalentador, una pieza de conexión especial, debe diseñarse y debe basarse en el diámetro interno de la entrada de la válvula.

La línea de entrada de la válvula debe ser autodrenada, hacia la conexión de la tubería o equipo que se protege. Si la línea de entrada de la válvula está conectada a la tubería, la conexión debe tener un mínimo de 10 diámetros de tubería después de cualquier accesorio, tal como la causada por un cambio de dirección, válvula de control, medidor de orificio. En general debe evitarse derivaciones de líneas de proceso en las líneas de entrada de válvulas de alivio.

5.3.1 Aislamiento

Generalmente, no se provee aislamiento para las líneas de entrada a válvulas de alivio excepto cuando se requiera para protección de personal en servicios calientes, o prevención de condensación en servicios fríos únicamente donde la condensación causa peligro para el equipo y para el personal. Si se prevé aislamiento frío para servicio criogénico, una especificada porción de la línea de entrada solo después de la PRV debe dejarse sin aislar. Otras excepciones son casos que requieren trazado, tales como fluidos viscosos los cuales podrían taponar el sistema o un fluido que podría congelarse a condiciones ambientales.

5.4 Descarga

5.4.1 Generadores de vapor.

Es práctica de ingeniería enviar la descarga de cada válvula de alivio directamente a la atmósfera sin manifold, esto es consistente con el código ASME, que la descarga sea lo más corta y recta posible, sin embargo no hay prohibición directa en contra de la combinación de descargas.

5.4.2 Drenado.

- (a) En descarga cerrada, la línea de salida de la válvula de alivio debe ser autodrenada a su punto terminal de conexión (cabezal de flare, tanque de knockout, recipiente de proceso, etc.)
- (b) En descarga abierta, la línea de salida de la válvula debe tener un barreno de ¼ de pulgada localizado en el punto bajo.

5.5 Válvulas de bloqueo

En generadores de vapor, no se deben instalar válvulas de bloqueo en la entrada entre la válvula de seguridad y el equipo protegido o en la salida.

Excepto para generadores de vapor el código ASME permite las válvulas de bloqueo que sean instaladas en las válvulas de alivio. Se supone que la válvula de alivio se le da mantenimiento cuando el equipo está fuera de servicio, aislado, y se quitan todas las fuentes potenciales de sobrepresión. Cuando es difícil seguir este procedimiento, y la PRV es para expansión hidráulica solamente, se debe considerar una válvula de aislamiento. El propósito de esta válvula de bloqueo es prevenir pérdidas de fluido vía fuga de la válvula de alivio. También el área abierta de la válvula de bloqueo debe ser igual o mayor que la boquilla de entrada o salida de la PRV donde aplique. Si la válvula de aislamiento es una válvula de compuerta, debe instalarse con el vástago en la horizontal para proteger la válvula contra fallas mecánicas internas que bloqueen el flujo.

Si en una válvula de alivio se provee una válvula de bloqueo de modo que se pueda remover mientras la planta está en operación, se debe prever una válvula de purga entre la válvula de bloqueo y la válvula de alivio para despresurizar antes de que la válvula de alivio sea desconectada.

Una PRV con válvulas de bloqueo instaladas, por los requerimientos de la sección 5.6 pueden ser reemplazado por una spare del almacén. Pero si se requiere la instalación del spare, se recomienda que las válvulas en la tubería de entrada y en la salida de la PRV deben estar interconectadas o mecánicamente ligadas para asegurar que la capacidad necesaria a relevar esté siempre disponible para el equipo protegido.

5.6 Válvulas operadas por piloto.

La toma de presión debe localizarse sobre la línea entre el equipo que se protege y la entrada de la válvula de alivio. No se debe localizar a menos de 10 diámetros de tubería después de cualquier turbulencia, como la causada por una válvula de control, medidor de orificio, o cambio de dirección.

Con actuación remota la caída de presión en la entrada puede despreciarse y las válvulas pueden ser instaladas con líneas de entrada relativamente largas si la capacidad requerida no se reduce.

Si las válvulas de alivio se localizan directamente sobre el equipo protegido, no se debe usar un sensor remoto de presión.

5.7 Discos de ruptura

Detección de fuga

Para discos de ruptura instalados a la entrada de válvulas de alivio, algún método que se ajuste a los requerimientos de código ASME, se debe usar para detectar o eliminar incremento de presión entre el disco y la válvula. Algunas veces, el incremento de presión es causado por una fuga en el disco de ruptura.

Cualquier incremento de presión después del disco evita que el disco releve a su presión de ruptura especificada. La mayoría de proveedores de discos de ruptura recomiendan un indicador que consiste de una válvula y un manómetro.

CONCLUSIONES

La protección para evitar una emergencia causada por sobrepresión en las unidades de proceso requiere de un diseño efectivo de los sistemas de alivio, que debe considerarse como actividades ligadas a varios requerimientos en vez de una serie de actividades aisladas. En este trabajo se han descrito éstos requerimientos.

La protección para evitar una sobrepresión es una parte crítica del manejo de la seguridad del proceso.

Con una protección efectiva mediante los sistemas de alivio se logra lo siguiente:

Protección para el personal y el equipo de proceso.

La seguridad en las operaciones de una planta.

La minimización de pérdidas de producto.

Riesgos potenciales mínimos y reducción de costos financieros.

Posible reducción en costos de aseguramiento.

Cumplimiento de las regulaciones de acuerdo a los códigos de diseño.

Se recomienda el desarrollo de simulación dinámica para el análisis de los sistemas de alivio con las características de las unidades de proceso, incluyendo torres de destilación y reactores, en la presencia de escenarios de operación realísticos tales como fallas de suministro de vapor, pérdida de agua de enfriamiento, fuego, etc, para la obtención de información crítica de transiente, relativa a la presurización del equipo, apertura de dispositivos de alivio y los perfiles de presión y flujo.

ANEXO
CASO DE APLICACION

TERMINO DE
FALLA DE EMERGEN

1.0 INTRODUCCION

Los sistemas de alivio deben dimensionarse de modo que cada válvula pueda relevar individualmente su flujo de diseño sin la contrapresión variable, en algunos casos en combinación con una contrapresión fija, excediendo la contrapresión permitida de la válvula. Una contrapresión que exceda la permitida resulta en una válvula de alivio con capacidad disminuida y/o posiblemente un punto de ajuste más alto. La contrapresión variable se mide a la salida de la válvula y se define como la cantidad de incremento en la presión de operación por encima de la presión de salida del sistema de descarga que es necesario para sobreponer las pérdidas por fricción y por aceleración durante la descarga.

Cuando el requerimiento máximo de vapor del sistema de flare se ha establecido y se ha definida la contrapresión máxima, el dimensionamiento de líneas se reduce a cálculos estándares de flujo. En general, la tubería de salida para dispositivos individuales se dimensionan basándose en el rango de capacidad del dispositivo, que es consistente con el valor usado para dimensionar la línea de entrada. Los sistemas de cabezales comunes y manifolds en instalaciones de dispositivos múltiples se dimensionan generalmente basándose en el caso de mayores capacidades acumulativas de todos los dispositivos que razonablemente se espera que descarguen simultáneamente en un evento de sobrepresión.

2.0 CONSIDERACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO.

2.1 Válvula tipo convencional

La contrapresión variable se limita a un 10% de la presión de ajuste.

Para múltiples válvulas que descargan a un sistema de manifold común, la contrapresión variable se limita al 10% de la presión de ajuste más baja de cualquier válvula convencional.

2.2 Válvula tipo fuelles balanceados.

La máxima contrapresión debe estar de acuerdo con las curvas de funcionamiento proporcionadas por el fabricante, ésas curvas varían de proveedor a proveedor.

Si el proveedor de la válvula no se ha seleccionado, usar 30% de la contrapresión total permisible para propósitos de cálculos iniciales. Para una contrapresión total arriba de 30%, usar la curva genérica de contrapresión para válvulas de alivio del estándar API 520, parte 1. El sistema debe chequearse con los datos reales después que se tenga información del proveedor.

Las válvulas operadas por piloto permiten una mayor contrapresión que las válvulas convencionales o de fuelles balanceados. La contrapresión se limita mediante la disminución de la capacidad, cuando la contrapresión se incrementa para causar flujo subsónico.

La tubería del sistema de flare puede ser dividida en las siguientes secciones:

- Líneas de descarga individual de las válvulas de alivio.
- subcabezales en cada área conectando las líneas de descarga individuales.
- El cabezal principal del flare conectando los cabezales hacia el knockout drum.
- El cabezal final conectando la línea de vapor (o líneas de vapor) desde el tanque de knockout hacia el quemador.

2.3 Bases de cálculo.

El flujo real en un sistema de descarga ocurre como flujo compresible entre condiciones de adiabático e isotérmico.

Para el mismo flujo y caída de presión, el dimensionamiento de líneas basados en condiciones de flujo isotérmico compresible resultan en un diámetro igual o mayor de tubería. Por lo tanto, los cabezales del flare deben dimensionarse considerando flujo isotérmico compresible para tener un diseño más conservativo.

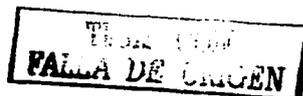
Para obtener la relación de presión crítica, determinar L/d a partir de datos conocidos y luego calcular el factor de fricción de fanning. El factor de fricción de Fanning es el factor de fricción de Darcy dividido por 4. Si la capacidad W es conocida, se requiere un método de intento y error para resolver la relación de presión, $P2/P1$. Suponer la presión desconocida ($P2$ o $P1$) y resolver para W hasta que el valor calculado de W iguale al valor conocido. No deben usarse relaciones de presión ($P2/P1$) menores que la crítica ($P2/P1$)*.

La tubería de descarga del sistema de alivio, algunos casos de sistemas de venteo y circuitos de válvulas de control se deben chequear para la posibilidad de falla a causa de fatiga, resultado de las vibraciones inducidas por el flujo.

El parámetro usado para identificar el potencial por vibraciones inducidas por el flujo es el nivel de ruido interno de la tubería el cual se calcula para los sistemas con tubería de descarga, incluyendo el cabezal del quemador, que sean mayor o igual a 10 pulgadas de diámetro nominal.

El sistema de descarga incluye todos los subcabezales y cabezales hasta el punto final de descarga (es decir flare , o chimenea) o al knockout drum el cual atenúa las vibraciones.

- usar válvulas múltiples (reducir W y así el nivel de ruido)
- Usar válvulas de fuelles balanceados o válvulas operadas por piloto (minimizar ΔP maximizando $P2$ y también reduce tamaños de línea).

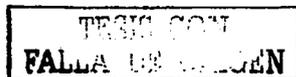


3.0 EJEMPLO

Considerar el ejemplo definido a continuación. Ver figura A.

R.V. de la Torre tamaño & tipo	Presión de ajuste (PSIG)	Tipo de emergencia	Flujo a relevar #/hr	Ocurrencia de la emergencia
E-201 6" Q8" Fuelles balanceados.	85	Falla de energía eléctrica	65,000	Simultáneo
		Falla de reflujo (vapor del plato 2)	95,000	Individual
		Fuego	No controlante	Individual
E-202 2 1/2" J 4" Convencional.	285	Falla de energía eléctrica	25,000	Simultáneo
		Falla de reflujo (vapor del plato 2)	45,000	Individual
		Fuego	No controlante	Individual
E-301 4" N 6" Convencional.	320	Falla de energía eléctrica	145,000	Simultáneo
		Falla de reflujo (vapor del plato 2)	145,000	Simultáneo
		Fuego	No controlante	Individual
E-501 4" N 6" Conv.	330	Falla de energía eléctrica	135,000	Simultáneo
		Falla de reflujo (vapor del plato 2)	135,000	Simultáneo
		Fuego	No controlante	Individual
E-502 4" N 6" fueles balanceados.	100	Falla de energía eléctrica	70,000	Simultáneo
		Falla de reflujo (vapor del plato 2)	70,000	Simultáneo
		Fuego	No controlante	Individual

El sistema de descarga bajo una falla simultánea de vapor debe manejar un flujo total de 440,000 lb/hr.



Se dan las siguientes longitudes equivalentes de tubería.

RV-1 150 PIES

RV-2 70 PIES

RV-3 200 PIES

RV-4 95 PIES

RV-5 100 PIES

RV-6 85 PIES

RV-7 85 PIES

RV-8 85 PIES

RV-9 950 PIES

RV-10 280 PIES

3.1 Dimensionamiento preliminar

Un tamaño preliminar para el cabezal es útil como punto de partida este puede determinarse usando el método siguiente.

Determinar el flujo de diseño de la descarga hacia el quemador.

$W=440,000$ lb/Hr.

Estimar o calcular el peso molecular combinado para el flujo total.

$MW = 48,4$

$T= 180$ F

Estos son los promedios calculados usando el método descrito en la sección 3.2.1.

Suponer una caída de presión para el tanque de knockout y la chimenea.

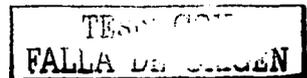
$\Delta P = 5$ psi

Este valor puede variar significativamente para sistemas distintos.

Seleccionar la condición límite de relevo, es decir el relevo de la torre con la mínima contrapresión.

El equipo E-201 determinará la presión de límite de batería debido a que éste tiene la contrapresión mínima permisible y es la mayor distancia al flare.

Contrapresión permisible = $85 \times .1 + 14.7 = 23.2$ psia



Debido a que la presión de entrada al tanque de knockout es 20.0 psia, resulta una buena aplicación para fuelles balanceados. Suponer 30% de contrapresión.

Contrapresión permisible = $85 \times .3 + 14.7 = 40.2$ psia

Estimar la presión de límite de batería.

Es deseable tomar algo de la caída de presión disponible del cabezal que va del límite de batería al tanque de knockout debido a que este es el tramo más largo y de mayor tamaño.

Caída de presión disponible = $40.2 - 20.0 = 20.2$ psi

Suponer 8.5 psi desde el límite de batería hasta el tanque de knockout 11.7 psi dentro del límite de batería. Por lo tanto,

Presión al límite de batería = $20.0 + 8.5 = 28.5$ psia

Calcular la caída de presión para flujo isotérmico.

Flujo = 440,000 #/hr

P2 = 20.0 PSIA

Temp = 180 F

k = 1.1 (supuesto)

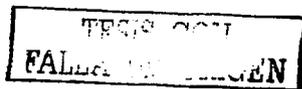
MW = 48.4

visc = .01 Cp (supuesto)

Diámetro	Cedula	P1 (psia)	delta P (P1-P2) psi
18"	STD	45.6	25.6
20"	STD	36.4	16.4
24"	STD	27.4	7.4

Para 950 pies de tubería, las pérdidas totales para una línea de 24" es 7.4 psi (se dispone de 8.5 psi).

Por lo tanto 24" es el diámetro preliminar.



3.2 Dimensionamiento final.

3.2.1 Método para la determinación de propiedades de varias Mezclas.

Peso Molecular

$$\#/\text{HR}/\text{MW} = \text{MOL}/\text{HR}$$

$$\#/\text{HR}/\text{MW} = \text{MOL}/\text{HR} \quad \text{MW} = \text{TOTAL DE } \#/\text{HR} / \text{TOTAL DE } [\text{MOL}/\text{HR}]$$

$$\text{TOTAL DE } \#/\text{HR} \quad \text{TOTAL DE } [\text{MOL}/\text{HR}]$$

TEMPERATURA

$$\#/\text{HR} \times T = \text{grados } \# / \text{HR}$$

$$\#/\text{HR} \times T = \text{grados } \# / \text{HR} \quad T = \text{TOTAL DE } [\text{grados } \# / \text{HR}] / \text{TOTAL DE } \#/\text{HR}$$

$$\text{TOTAL DE } \#/\text{HR} \quad \text{TOTAL DE } [\text{grados } \# / \text{HR}]$$

3.2.2 Determinar propiedades.

$$W/\text{MW} = \text{MOL}/\text{HR}$$

$$W \times T = \text{grados } \#/\text{HR}$$

$$\text{RV-1} \quad 65,000/57 = 1140$$

$$65,000 \times 330 = 21.4 \times 10^6$$

$$\text{RV-2} \quad \frac{25,000}{43} = \frac{581}{90,000} \quad 1721$$

$$25,000 \times 155 = 3.8 \times 10^6$$

$$\text{RV-3} \quad \text{MW} = 90,000/17210 = 52.3$$

$$T = 25.2 \times 10^6/90,000 = 280 \text{ F}$$

$$\text{RV-3} = 90,000/52.3 = 1721$$

$$90,000 \times 280 = 25.2 \times 10^6$$

$$\text{RV-4} = \frac{145,000}{235,000} / 50 = \frac{2900}{4621}$$

$$\frac{145,000 \times 175 = 25.3 \times 10^6}{235,000} \quad 50.5 \times 10^6$$

$$\text{RV-5} \quad \text{MW} = 235,000/4621 = 50.8$$

$$T = 50.5 \times 10^6/235,000 = 215 \text{ F}$$

TESIS CON
FALTA DE ORDEN

$$\text{RV-6 } 135,000/42 = 3214$$

$$\text{RV-7 } \frac{70,000}{58} = \underline{1206}$$

$$205,000 \quad 4420$$

T = 140 F para ambos casos

$$\text{RV-8 } \text{MW} = 205,000/4420 = 46.3$$

T = 140 F

$$\text{RV-5 } 235,000/50.8 = 4626$$

$$235,000 \times 2.15 = 50.5 \times 10^6$$

$$\text{RV-8 } \frac{205,000}{46.0} = \underline{4456}$$

$$\frac{205,000 \times 140}{440,000} = \underline{28.7 \times 10^6}$$

$$440,000 \quad 9082$$

$$440,000 \quad 79.2 \times 10^6$$

$$\text{RV-9 } \text{MW} = 440,000/9082 = 48.4$$

T = $79.2 \times 10^6 / 440,000 = 180$ F

$$\text{RV-10 } \text{W} = 440,000 \quad \text{MW} = 48.4$$

T = 180 F

3.2.3 Calcular tamaños para el sistema hacia el quemador.

Notar que los cálculos siguientes, se realizan para flujo isotérmico (referirse al estándar API).

Calcular el perfil de presión de los cabezales hacia el quemador comenzando desde la salida de la chimenea del flare donde la presión es atmosférica y calcular hacia la válvula de alivio.

Dependiendo del sello usado en la chimenea del flare, la presión en la base puede variar. Generalmente 2 psi es una buena aproximación y ese valor se tomará para éste cálculo.

La caída de presión a través del extremo del quemador variará dependiendo del tipo y proveedor, chequear con el fabricante. Para éste cálculo se supondrá 0.5 psi.

La presión en la base = presión Atm a la salida del quemador + 0.5 psi en la punta del quemador + 0.5 psi caída de presión del sello + 1 psi caída de presión debida al flujo a través de la altura de la chimenea = 2 psig = 16.7 PSIA.

(b) del tanque de knockout a la chimenea del quemador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Calcular la presión en el tanque:

= 2 psig + delta P requerida para el flujo de la carga total de vapores del tanque de knockout a la chimenea + 0.1 psi caída de presión supuesta dentro del tanque + pérdidas en las boquillas.

Si no se dispone de distancias reales de tubería, como una estimación de la distancia entre el tanque de knockout y la chimenea del quemador puede tomarse de 300 ft.

RV-10

Flujo = 440,000 #/HR

MW = 48.4

T = 180°F

k = 1.1 (supuesto)

mu = 0.01 CP

presión de salida = 2 + 14.7 = 16.7 PSIA

Usando la ecuación de flujo Isotérmico.

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
30[STD]	280	17.50	16.7	180	.249/.262	850.4	0.951	0.53
6[STD]	280	17.00	16.7	180	.177/.180	850.4	0.981	0.55

Usar línea de 30" para RV-10

(c) Sistema antes del tanque de knockout.

RV-9

Flujo = 440000 #/HR.

MW = 48.4

T = 180°F

k = 1.1 (suponer)

mu = 0.01 CP

presión de entrada = 17.602 + 0.1 (recipiente) + 0.9

(pérdida en la boquilla = 1.5 cabeza vel) = 18.602 psia

TELAS CON
FALLA DE ORIGEN

Usando la ecuación de flujo isotérmico:

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
24[STD]	950	26.0	18.602	180	.265/372	850.4	0.713	0.336
30[STD]	950	21.0	18.602	180	.208/235	850.4	0.884	0.368
36[STD]	950	19.5	18.602	180	.154/162	850.4	0.951	0.395

Usar línea de 24" para RV-9

RV-8

Flujo = 135000 + 70000 = 205000 #/HR

MW = 45.96

T = 140°F usando los mismos valores para μ y k , sustituyendo en la ecuación para flujo isotérmico.

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P18
[STD]	85	58.0	26.36	140	.462/953	845.3	0.485	0.485
10[STD]	85	36.9	26.36	140	.467/656	845.5	0.712	0.521

Usar línea de 10" para RV-8

RV-7

Flujo = 70000 #/HR

MW = 58

T = 140°F

$k = 1.1$

$\mu = 0.01$

Contrapresión permitida (fuelles balanceados) = $100 \times 0.30 + 14.7 = 44.7$ psia

Flujo = 70000 lb/hr

Máxima contrapresión permisible = 51.45 psia

Relación de calores específicos, $k = 1.1$

Temperatura de salida = 140°F

Longitud de la línea de salida (Equivalente) = 85 ft

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Usando la ecuación de flujo isotérmico:

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
[S40]	85	44.2	36.00	140	.323/397	752.1	0.814	0.44

Usar línea de 6" para RV-7

RV-6

Contrapresión permitida = $330 \times 0.1 + 14.7 = 47.7$ PSIA

MW = 42

Flujo = 135000 lb/hr

Contrapresión máxima permisible = 47.7 psia

Relación de calores específicos, $k = 1.1$

Temperatura de salida = 140°F

Longitud de la línea de salida (Equivalente) = 85 ft

Usando la ecuación para flujo isotérmico:

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
6[40]	85	77.2	36.00	140	.420/901	883.9	0.466	0.44
8[STD]	85	46.8	36.00	140	.499/520	883.9	0.768	0.48

Usar línea de 8" para RV-6

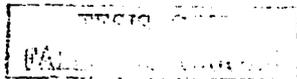
RV-5

Flujo = 235,000#/HR

MW = 50.8

T = 210°F usando los mismos valores para μ y k , sustituyendo en la ecuación para flujo isotérmico.

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
8[STD]	100	70.9	26.36	210	.442/953	849.3	0.463	0.463
10[STD]	100	42.5	26.36	210	.467/755	849.3	0.618	0.500
12[STD]	100	32.5	26.36	210	.426/527	849.3	0.809	0.528



Usar línea de 12" para RV-5

RV-4

Contrapresión permisible = $320 \times 0.1 + 14.7 = 46.6$ PSIA

MW= 50

Flujo = 145000 lb/hr

Contrapresión máxima permisible = 46.6 psia

Relación de calores específicos, $k= 1.1$

Temperatura de salida = 170°F

Longitud de la línea de salida (Equivalente)= 95 ft

Usando la ecuación de flujo isotérmico:

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
6[40]	95	80.55	32.494	170	.406/.95	830.1	0.426	0.42
8[STD]	95	46.07	32.494	170	.410/.581	830.1	0.705	0.47

Usar línea de 8" para RV-4

RV-3

Flujo = 90000 #/HR

MW= 52.2

T= 282°F usando los mismos valores para μ y k , sustituyendo en la ecuación para flujo isotérmico.

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
8[STD]	200	43.3	32.494	282	.287/.383	881.7	0.749	0.371
10[STD]	200	35.9	32.494	282	.220/.243	881.7	0.903	0.406

Usar línea de 10" para RV-3

RV-2

Contrapresión permisible = $285 \times 0.1 + 14.7 = 43.2$ PSIA

MW= 43

Flujo = 25000 lb/hr

Contrapresión Máxima permisible = 43.2 psia



Relación de calores específicos, $k = 1.1$

Temperatura de salida = 150°F

Longitud de la línea de salida (Equivalente) = 70 ft

Usando la ecuación para flujo isotérmico:

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
4[40]	70	45.5	35.812	150	.29/1.379	880.8	0.786	0.400
6[40]	70	36.9	35.812	150	.16/1.167	880.8	0.968	0.464

Usar línea de 6" para RV-2

RV-1

Contrapresión permisible = $85 \times 0.30 + 14.7 = 40.2$ PSIA

MW = 57

Flujo = 65000 lb/hr

Contrapresión máxima permisible = 42.7 psia

Relación de calores específicos, $k = 1.1$

Temperatura de salida = 335°F

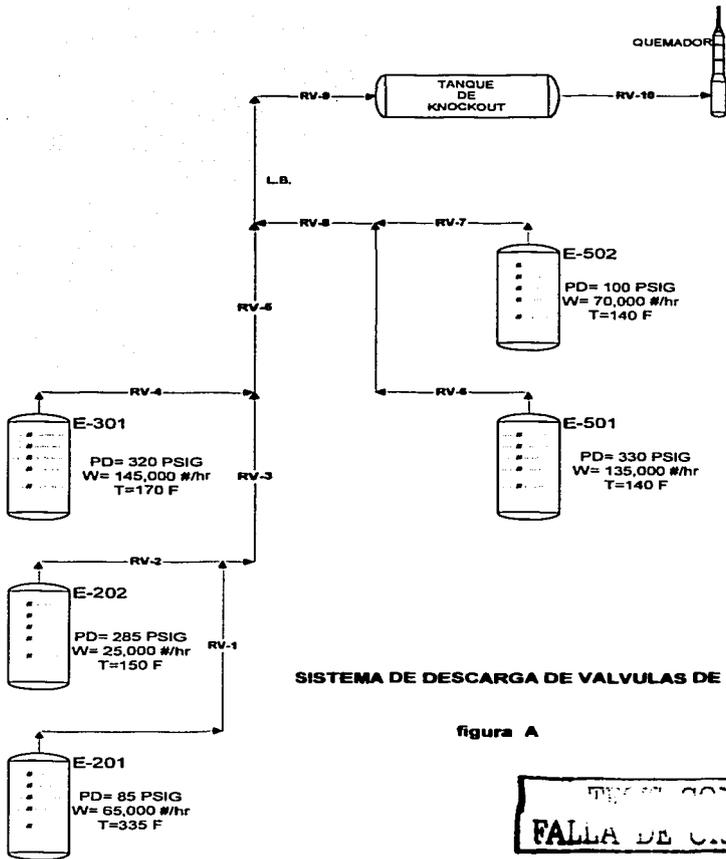
Longitud de la línea de salida (Equivalente) = 150 ft

Diámetro [Ced]	Longitud Equiv	P ent psia	P sal psia	Temp F	# Mach Ent/Sal	Vel Sonic (ft/s)	P2/P1 Real	Crítica P2/P1
8[STD]	150	39.0	35.812	335	.224/2.249	873.3	0.900	0.408

Usar línea de 8" para RV-1

Los cabezales/subcabezales de descarga de válvulas de alivio diseñados para el caso controlador, debe también chequearse para otras condiciones para disturbios individuales o para toda la planta, de cada PRV conectadas a los cabezales/subcabezales. La revisión debe hacerse desde el extremo del quemador hacia atrás a través de todos los cabezales/subcabezales y la línea de salida de la válvula de alivio, hasta la válvula.

TRISTE LOW
FALLA DE ORIGEN



REFERENCIAS

- 1.- Leung, J. C., "The Omega Method for Discharge Rate Evaluation", International Symposium on Runaway Reactions and Pressure Relief Design, AIChE, 1995.
- 2.- Leung, J. C., "Sizing Relief Devices in Two-Phase Service", AIChE 1995 Petrochemical Expo, 1995.
- 3.- Lockhart, R.W. and Martinelli, R.C., "Proposed Correlation of Data for Isothermal Twophase, Twocomponent Flow in Pipes," Chem Engr Prog. Vol. 45, pp. 39-48.
- 4.- Baker, O., "Simultaneous Flow of Oil and Gas," Oil and Gas Journal, July 26, 1954, pp. 185-195.
- 5.- Taitel, Y. and Dukler, A.E., "A Model for Predicting Flow Regime Transitions in Horizontal and Near Horizontal GasLiquid Flow," AIChE Journal, 22(1), 1976, pp. 47-56.
- 6.- Taitel, Y., Barnea, D. and Dukler, A.E., "Flow Pattern Transitions for Steady Upward Gasliquid Flow in Vertical Tubes," AIChE Journal, 26(3), May 1980, pp. 345-354.
- 7.- Barnea, D., Shoham, O. and Taitel Y., "Flow Pattern Transition for Vertical Downward TwoPhase Flow," Chemical Engr Science, 37(5), 1982, pp. 741-744.
- 8.- Neshan, H., "Vertical Downward Twophase Flow Design Manual," KBR Internal Report dated October 1, 1990.
- 9.- Taitel, Y. and Dukler, A.E., Brief Communication "A Theoretical Approach to the Lockhart-Martinelli Correlation for Stratified Flow," Int. J. Multiphase Flow, Vol. 2, 1976, pp. 591-595.
- 10.- Shoham, O. and Taitel, Y., "Stratified Turbulent Gas Liquid Flow in Horizontal and Inclined Pipes," AIChE Journal, Vol. 30, No. 3, May 1984, pp. 377-385.
- 11.- Dukler, A.E. and Hubbard, M.G., "A Model for GasLiquid Slug Flow in Horizontal and Near Horizontal Tubes," Ind. Engrg. Chemistry Fund, 14(4), 1975, pp. 337-347.
- 12.- Nicholson, M.K., Aziz, K., Gregory, G.A., "Intermittent TwoPhase Flow in Horizontal Pipes: Predictive Models," The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 56, December 1978.
- 13.- Dukler, A.E., et. al., "A Physical Model for Predicting the Minimum Stable Slug Length," Chem. Eng. Sci., Vol. 40, No. 8, 1985, pp. 1374-1385.

14.- Fernandes, R.E., Semiat, R. and Dukler, A.E., "Hydrodynamic Model for GasLiquid Slug Flow in Vertical Tubes," AIChE Journal, Vol. 29, No. 6, November 1983, pp. 981-989.

15.- Dukler, A.E., Wicks, M. and Cleveland, R.G., "Frictional Pressure Drop in Twophase Flow: A. A comparison of Existing Correlations for Pressure Loss and Hold Up," AIChE Journal, January 1964, pp. 38-43.

16.- Dukler, A.E., Wicks, M. and Cleveland, R.G., "Frictional Pressure Drop in Twophase Flow: B. An Approach Through Similarity Analysis," AIChE Journal, January 1964, pp. 44-51.

17.- Wallis, G.B., "One Dimensional Twophase Flow," McGrawHill, New York, New York, 1969.

18.- Orange, L., "Condensate Behavior in Gas Pipelines is Predictable," Oil and Gas Journal, July 2, 1973, p. 39.