

15
24.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA**

**GUÍA PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN
POR SOBREPRESIÓN EN UNA PLANTA DE PROCESO**

(Trabajo escrito vía cursos de Educación Continua)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

Gloria María Badillo Guerrero

MÉXICO, D.F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

Señor:

Ésta es una más de las muchas bendiciones que me has estado regalando desde que nací, soy muy afortunada. Porque todo "simplemente" proviene de Ti, ¡ GRACIAS !

Glo y Nacho:

Puedo decir tantas cosas lindas sobre uds. pero necesitaría más que unos renglones para expresarlo, por todo lo bueno que me dan, por sus preocupaciones y su gran apoyo, por estar conmigo siempre: MUCHAS GRACIAS, en verdad es una dicha contar con su amor incondicional, soy muy feliz porque uds. son mis papás.

¡ Dios los cuide y los llene de bendiciones !

¡ LOS AMO !

Roci y Oscarito:

A pesar de que son mis pequeños hermanos, nunca dejaré de reconocer que en realidad siempre han sido ¡ tan grandes ... !, sus logros serán siempre motivo de gusto y admiración para mí, por todo el cariño que nos tenemos y que nos hace permanecer unidos: GRACIAS; debo decir que es muy lindo ser parte de esta familia.

¡ LOS QUIERO !

A ti también Beto, ahora eres parte, GRACIAS.

Andy:

Se me hace increíble que siendo tan chiquita me puedas dar tanto. GRACIAS nena.

¡ Dios te cuide siempre !

Lupita:

Siempre recordaré tu apoyo y compañía como parte de mi vida, no olvides que eres correspondida con el mucho cariño que te tengo, por cuidarme y preocuparte sólo me queda decir:

¡ GRACIAS a Dios por tenerte !

Conchita⁺ y Maclovio:

Con mucho cariño, porque de uds. siempre recibí cuidados y cosas bonitas.

Por su presencia: GRACIAS.

¡ Dios los bendiga !

Michaelito:

Tú conoces bien lo mucho que significas, GRACIAS por todo lo que das, y por la oportunidad de compartir tanto, es muy importante que nunca olvides esto:

¡ T. Q. M. y más !, ¿ sabes ?.

Tío Manuel:

Conforme pasa más y más el tiempo, me doy más y más cuenta de lo bondadoso y noble que alguien puede llegar a ser, tú eres ese ejemplo.

¡ Dios te cuide !

Marthita y Federico:

Con mucho cariño y agradecimiento, porque con uds. siempre me he sentido como en mi casa.

¡ Bendiciones para los dos !

Laurita, Migue⁺, Clau y Charly:

Es mi deseo que siempre sigamos viendonos como hermanos, y que el cariño que nos une crezca más y más, por la vida compartida: ¡ GRACIAS !.

Carmen, Itzia, Blanca, Alma y Agustín:

Porque los momentos difíciles los hemos compartido, y ahora porque no compartir uno bueno, como los muchos que también hemos tenido, GRACIAS por ser mis amigos.

Mari y Nacho:

Porque uds. y su familia son ya parte de mi vida, GRACIAS por estar presentes.

**Ing. Arturo López Torres,
Ing. José Guadalupe Rodríguez,
Ing. Sergio Spíndola,
Ing. Enrique Brunner:**

*Por su apoyo, por sus consejos, y sobre todo por su amistad:
GRACIAS.*

*A todos mis familiares, amigos y compañeros que en diferentes etapas de mi vida han estado ahí.
¡ MUCHAS GRACIAS !*

Con profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México por la gran oportunidad, deseando que todos nos esforcemos por mantener su nombre en alto, y que aquello de "la máxima casa de estudios" sea siempre una realidad.

Y finalmente, quiero agradecer con gran respeto a todos mis maestros y a los ingenieros, que a través del paso de mi vida por el mundo de la Ingeniería Química, han contribuido con sus comentarios y conocimientos a que cada día que pasa yo sepa un poquito más, y pueda decir con gran satisfacción que no me equivoqué al escoger esta maravillosa profesión.

Jurado asignado:

Presidente	Prof. LÓPEZ TORRES ARTURO.
Vocal	Prof. AGUILAR MARTÍNEZ CLAUDIO ARMANDO.
Secretario	Prof. AGUILAR GÓMEZ MANUEL JESÚS.
1er. Suplente	Prof. PÉREZ CAMACHO MARIANO.
2o. Suplente	Prof. RUÍZ TREJO RODOLFO.

Sitio donde se desarrolló el tema: U.N.A.M. y domicilio particular.


Asesor: ING. ARTURO LÓPEZ TORRES.


Sustentante: GLORIA MARÍA BADILLO GUERRERO.

***Guía para el diseño de los
sistemas de protección por
sobrepresión en una planta
de proceso.***

1997

Guía para el diseño de los sistemas de protección por sobrepresión en una planta de proceso.

Contenido.

Introducción.

1.- Seguridad y "Sobrepresión"; su consideración desde la etapa inicial de un proyecto.

2.- Generalidades.

**Sistemas de Alivio de Presión.
"Sobrepresión".
Dispositivos para Alivio de Presión.
Sistema de Desfogues.
Códigos y Especificaciones.
Definiciones.**

3.- Sistema de Desfogues.

**Descripción.
Fuentes de Emisión, Análisis de Cargas y Causas de Relevo.
Dispositivos para Alivio de Presión.
Cabezal de Desfogues y Líneas Secundarias.
Equipo Auxiliar del Sistema de Desfogues.**

4.- Determinación de los Flujos de Relevo Individuales para Diseño.

**Descargas Bloqueadas.
Falla del Medio de Enfriamiento en un Condensador.
Falla de Reflujo.
Falla en el Control Automático en el Proceso.
Entrada de Calor Anormal al Proceso.
Expansión Térmica de Líquidos.
Falla de Energía Eléctrica.
Ruptura de Tubos.
Fuego Externo.**

5.- Conclusiones.

6.- Bibliografía.

Introducción.

<< Si te atrae una lucecita, síguela. Si te conduce al pantano ya saldrás de él. Pero si no la sigues, toda la vida te mortificarás pensando que acaso era tu estrella. >>

Séneca.

Introducción

A quién podría ser útil esta guía.

Este trabajo pretende ser una breve y práctica guía que pueda dar una orientación básica a aquellos profesionales de la Ingeniería Química que se inician en el área de diseño y en la elaboración de proyectos para la industria química.

Conforme se avance en la lectura de este trabajo, se llegarán a comprender con claridad algunos conceptos básicos mínimos, requeridos para el análisis de los problemas de "sobrepresión" que se pudieran presentar en la operación de las plantas de proceso que se estén diseñando.

¿Ingeniería?.

Tradicionalmente se ha definido a la Ingeniería como la aplicación de los conocimientos científicos en la invención, perfeccionamiento y utilización de la técnica industrial en todas sus acepciones; también se define como la ciencia que trata de encausar las grandes fuentes de energía existentes en la naturaleza hacia el servicio y conveniencia del hombre. Estas definiciones en nuestros días se han visto modificadas a causa de un fenómeno frecuente de nuestra época:

"la superación del trabajo individual por el trabajo en equipo".

En la actualidad, se denomina Ingeniería a la función específica que un grupo coherente de especialistas aporta al proceso creador de una realización técnica. Éstos se ocupan primordialmente de aplicar y dirigir hacia fines prácticos y económicos los fenómenos que los científicos han descubierto y formulado en teorías.

El Ingeniero Químico se ocupa de la tecnología de los procesos en las industrias químicas principalmente. Aún en nuestros tiempos, se puede decir que la Ingeniería Química es tanto un arte como una ciencia, algunas situaciones y explicaciones se comprenden a la perfección teóricamente, pero otras se conocen solo parcialmente y nada más se utilizan como una guía práctica, muchos métodos y reglas utilizados en esta área fueron y son elaborados en base a la experiencia en el desarrollo y estudio de los fenómenos y procesos químicos.

El Ingeniero Químico debe considerar dentro de sus actividades a desarrollar dos aspectos muy importantes:

la economía y la seguridad

debe aplicar sus conocimientos y criterios que de acuerdo a su experiencia, lo lleven al desarrollo del diseño de un proceso determinado para que opere dentro de condiciones óptimas y seguras, aún considerando que se pudieran presentar situaciones no previstas o de emergencia.

La seguridad es uno de los elementos más importantes a considerar en una planta industrial de proceso química, petroquímica o de refinación, este aspecto estará siempre considerado desde la fase de proyecto para una planta de proceso, la reducción del riesgo debe comenzar desde la concepción de un nuevo proceso a través del diseño de plantas intrínsecamente seguras y fácilmente controlables.

Dice un refrán común: << Más vale prevenir que lamentar >>, y la mejor manera de evitar un riesgo y prevenir un accidente de cualquier tipo es minimizar las posibilidades de que tenga lugar.

“Sobrepresión”.

En el presente trabajo se hablará de las consideraciones que deben tenerse para el diseño *seguro y eficiente* de los sistemas de protección por “sobrepresión” para las unidades de proceso.

Debido a que siempre existirá la posibilidad que durante la operación normal de una planta química o petroquímica, o bien durante el paro o arranque de la misma, se pueda presentar una situación anormal, generada ya sea por falla de alguno de los servicios auxiliares como son: agua de enfriamiento, aire de instrumentos, energía eléctrica, etc., o bien por alguna condición de emergencia, tal como lo son los incendios o los fenómenos naturales, se hace necesario prever el modo de controlar la “sobrepresión”, que generada por algunas de las situaciones mencionadas se pueda presentar en un equipo, en varios a la vez, o hasta en un sistema completo dentro de una planta industrial.

Las precauciones que son tomadas para controlar la situación de “sobrepresión” son indispensables para no poner en peligro la integridad del personal que labora en la planta, así como la del equipo, las estructuras y los edificios.

Para relevar presión se utilizan diferentes dispositivos de alivio, adecuados para este fin, las descargas provenientes de éstos pueden ser de tipo atmosférico, y en otros casos debido al tipo de fluido que relevan, deben ir a un sistema cerrado para su recolección: Sistema de Desfogues, para posteriormente ser tratados y/o reprocesados.

A lo largo de esta guía se conocerán diferentes situaciones que pueden generar el aumento de presión en una planta, también se dan algunos lineamientos generales para el diseño de estos sistemas, así como las bases y códigos en los que se soporta el diseño y desarrollo de un sistema para aliviar presión.

Los conceptos generales que se mencionan en este trabajo son una guía para entender claramente el problema de “sobrepresión”, y cuales son las formas de atacarlo, de este modo se obtendrá un sistema que garantice la seguridad en una unidad de proceso.

Capítulo 1 ***Seguridad y “Sobrepresión”; su
consideración desde la etapa inicial de
un proyecto.***

***<< A menudo resultaba imposible imaginar cómo podían fallar
unos excelentes componentes electrónicos que habían sido
sujetos a la más rigurosa comprobación previa; sin embargo,
fallaban. >>***

2001, Una Odisea Espacial. Arthur C. Clarke.

Capítulo 1

Seguridad y “Sobrepresión”; su consideración desde la etapa inicial de un proyecto.

Durante los últimos cincuenta años, la industria química ha experimentado cambios de gran importancia. A medida que los avances tecnológicos han dado origen a la aparición de nuevos materiales, e incluso nuevos procesos, se ha fomentado el crecimiento de la industria, hoy en día existen plantas químicas de gran tamaño, habiéndose incrementado en un orden de magnitud la capacidad de algunas unidades en los últimos veinte años.

Como es lógico, el crecimiento tanto en el número de industrias como en la capacidad de éstas ha aumentado el número de personas (dentro de las plantas de proceso y entre el público en general) que pueden estar expuestas a las consecuencias de un accidente industrial, ésto a su vez ha propiciado una toma de conciencia sobre la seguridad industrial.

De forma simple y clara, se puede decir que:

“seguridad significa evitar riesgos y prevenir accidentes”.

Para lograr lo anterior, es necesario realizar estudios de Análisis de Riesgos, cuyo paso más importante, es obviamente, la identificación de los riesgos, a fin de tomar medidas para reducirlos.

La seguridad se debe considerar desde la fase de proyecto para una planta química o de proceso, ya sea que se trate del diseño y construcción de una nueva unidad o que sean modificaciones o ampliaciones de instalaciones existentes, ya que la producción y la seguridad van a la par en todo proceso industrial, es evidente que en la fase de proyecto no deben desligarse ambas.

La seguridad del personal y la protección para evitar daño al equipo son la base para el diseño y elaboración de los proyectos de plantas químicas. El diseño de tales plantas incluye: un gran número de operaciones unitarias, amplia variedad de equipo, una combinación de cargas y procesos continuos, equipo para transporte y manejo de líquidos, sólidos y lodos, inspección y controles, y el punto que nos ocupa *“seguridad”*.

Antes de proyectar una planta, se deberá crear un clima de seguridad que influya en todas las decisiones del proyecto a lo largo de todas las etapas del mismo, desde la investigación y el desarrollo del producto y el proceso, hasta la ingeniería de detalle, iniciando con la ingeniería del proceso.

Para el mejor desarrollo de un proyecto es conveniente establecer fases claramente definidas que aseguren que todos los datos y documentos necesarios para el diseño se van generando en su debido momento, y que así sufrirán las revisiones establecidas para verificar su adaptación a los objetivos del proyecto.

En todas las fases existen oportunidades para reducir el riesgo, aunque los cambios a efectuar son más efectivos y menos costosos cuando se llevan a cabo en las etapas más tempranas de la realización del trabajo. En cada etapa se deben aplicar las técnicas apropiadas para identificar y evaluar los riesgos, y así poder visualizar e identificar las consecuencias. Según los resultados obtenidos, se puede actuar para reducir el riesgo a un nivel admisible mediante cambios en el proceso, en el diseño y control del mismo, o en la distribución de los equipos o de los medios de seguridad y de protección.

Al final de cada una de las etapas indicadas, debe haber una revisión exhaustiva de todos los aspectos relacionados con la seguridad. en esta revisión o auditoría deben participar personas ajenas al equipo del proyecto, capaces de ofrecer una visión renovadora del mismo. Además debe haber personas conocedoras de la tecnología aplicada y expertos en seguridad. Una composición adecuada puede incluir al jefe del proyecto, al ingeniero de proceso, a un representante de la producción, al jefe de la seguridad, y a un experto de proceso o de seguridad de una planta similar.

Los riesgos que hay que considerar en el proyecto de cualquier planta de proceso y que son capaces de crear condiciones de trabajo inseguras, los agruparemos en tres categorías principales:

- ✓ Incendios y Explosiones.
- ✓ Toxicidad.
- ✓ Mecánicos.

Para identificar los riesgos de un proceso, la clave está en reconocer las situaciones peligrosas y visualizar como resolverlas, para así ser consideradas en las bases de diseño del proyecto, básicamente se deben determinar los riesgos potenciales, éstos se pueden identificar con la ayuda de los códigos, manuales y publicaciones que se han editado sobre la prevención de incendios, higiene y seguridad industrial.

Cuando no ha sido posible eliminar totalmente una situación peligrosa durante el diseño, es necesario adoptar medidas de seguridad que impidan accidentes mayores. Un caso típico es el aumento de presión por encima de la que un recipiente puede soportar, este riesgo es uno de los mayores que pueden presentarse durante la operación de una planta de proceso, el aumento excesivo de presión puede producirse por diferentes causas, pero también es cierto que puede ser controlado por diversos medios tales como: controles de presión, ventos manuales y sistemas de relevo.

Los recipientes a presión que se utilizan en la industria química (tanques, intercambiadores de calor, columnas de destilación, separadores líquido-gas, etc.) están diseñados para soportar una cierta presión (la de diseño) a una cierta temperatura (también de diseño), y aunque los códigos y normas utilizados para el cálculo de su resistencia, utilizan factores de seguridad de hasta cuatro o mayores, la mayoría de ellos exige la instalación de dispositivos de alivio de presión para evitar situaciones peligrosas.

De hecho, todas las plantas de proceso que involucran el manejo de fluidos de diferentes tipos están sujetas al problema de "sobrepresión" y por lo tanto deberán considerar siempre un Sistema de Alivio de Presión, esto con el fin de evitar daños de diversos tipos: que van desde la integridad física del personal, hasta las pérdidas económicas o perjuicios en el equipo o en las instalaciones de la planta en general.

Aunque existen normas y códigos que representan prácticas de ingeniería que indican las bases y lineamientos a seguir en el diseño de un Sistema de Alivio de Presión, el ingeniero deberá seleccionar y decidir cuales son los métodos y dispositivos de alivio adecuados a emplear en el diseño para un servicio específico, existen varias maneras disponibles para resolver el problema de "sobrepresión", y aunque ninguna es adecuada para todos los servicios, cada una es idónea para una aplicación en particular. Los sistemas de alivio además de cumplir con los códigos respectivos, deben seguir los principios surgidos del sentido común y de la experiencia.

La "sobrepresión" es el resultado de un desbalance o disturbio en el flujo normal de materia o energía de un proceso, y se refleja en una "carga" adicional en alguna parte del sistema. El análisis de causas y magnitud de la "sobrepresión" es un estudio especial y complejo de los balances de materia y energía de un proceso determinado.

Conforme las unidades de proceso se vuelven más complejas y tienen más energía almacenada, el diseño de los sistemas de protección para el alivio de presión en forma segura, económica, y confiable se vuelve más importante.

Como ya se mencionó, **LOS SISTEMAS DE ALIVIO TIENEN EL OBJETIVO PRINCIPAL DE PROTEGER AL PERSONAL, AL EQUIPO Y A LAS ESTRUCTURAS DE UNA PLANTA** contra un funcionamiento anormal del proceso, y se integran de varias partes: dispositivos de alivio de presión, redes de tubería, así como de diferentes equipos auxiliares como tanques separadores y tanques de sello, quemadores elevados o de fosa, chimeneas, etc..

Los sistemas de protección por "sobrepresión" deben contar con los dispositivos adecuados para enfrentarse a los cambios bruscos de presión, existen casos en donde los equipos involucrados y protegidos son sometidos a "sobrepresión" por varias causas sin relación entre sí y en eventos diferentes, sin embargo el sistema diseñado debe tener la capacidad para cubrir las condiciones más críticas de relevo que se pudieran presentar en el caso de un descontrol en la operación.

En el diseño de un sistema de relevo o de desfogues, se deben seleccionar elementos y dispositivos confiables y seguros para cumplir con el objetivo para el cual fué diseñado, por otro lado, también se debe hacer énfasis en el desarrollo de la ingeniería para estos sistemas, ya que es posible obtener ahorros potenciales en materiales y en costos de operación, se debe realizar siempre la optimización del diseño.

Es por esto, que las organizaciones de ingeniería que se dedican a realizar proyectos y a dirigir este tipo de obras deben tomar conciencia de la importancia de prever las mejores y más seguras condiciones de trabajo para las plantas que estén proyectando, para evitar daños materiales y sobre todo **LESIONES Y PÉRDIDAS DE VIDAS** que lamentar.

Capítulo 2

Generalidades.

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

El Príncipe. Nicolás Maquiavelo.

Capítulo 2

Generalidades.

Sistemas de Alivio de Presión.

Tal como se mencionó, uno de los mayores riesgos que pueden presentarse en la operación de una unidad de proceso en la industria química es el aumento excesivo de presión: es un hecho que el desarrollo y el uso efectivo de los procedimientos de seguridad minimizará las situaciones de emergencia, pero a pesar de los extremos cuidados que se tengan en el aspecto seguridad, siempre habrá la posibilidad que se presenten errores humanos, fallas de equipo, o alguna situación totalmente inesperada, por lo que se deben tomar acciones para asegurar el control de la emergencia, para este fin se instalan diferentes tipos de "unidades de protección".

Las "unidades de protección" están consideradas también dentro de los sistemas auxiliares de una planta química, estos sistemas en caso de un evento de fuego o de otra emergencia protegen las unidades de proceso de una excesiva presión y temperatura.

LAS "UNIDADES DE PROTECCIÓN" SE PUEDEN CLASIFICAR EN LOS SIGUIENTES SISTEMAS BÁSICOS:

- Facilidades para relevés de presión.
- Sistemas de despresurización de vapor.
- Facilidades para remoción de líquidos.
- Sistemas de agua contra incendio.
- Sistemas de espray de agua y de espumas.
- Protección estructural contra el fuego.
- Sistemas de contención y/o confinamiento de derrames.
- Sistemas auxiliares de control como son: alarmas, paros automáticos, cortes automáticos, etc..

Dentro de estos sistemas básicos de protección se encuentran los Sistemas de Alivio de Presión, motivo principal de la presentación de este trabajo.

El diseño de un Sistema de Alivio de Presión para una nueva planta de proceso debe ser uno de los aspectos más rigurosos a considerar como parte del paquete de diseño, en el diseño de estos sistemas se tienen que tomar en cuenta los siguientes aspectos principales:

- ✓ El conocimiento pleno del proceso.
- ✓ Las cargas al sistema que son señaladas en las Bases de Diseño.

- ✓ Códigos y regulaciones legales, locales y estatales.
- ✓ Códigos y estándares industriales, internacionales y nacionales.
- ✓ Regulaciones y reglamentos de protección ambiental.
- ✓ Costo del sistema de relevo, ésto es: válvulas o dispositivos de alivio, tubería y equipo auxiliar.
- ✓ Protección al personal.

Además es importante considerar que:

- ✓ Se deben minimizar las pérdidas de materiales, durante y después de una alteración en la operación que haya ocasionado la elevación de la presión.
- ✓ Se debe reducir la pérdida de tiempo debida a la "sobrepresión" en la planta, ésto con el fin de poder controlar el proceso y de llevar a operación normal la planta lo más pronto posible.

El objetivo del diseño de un sistema de seguridad para relevo de presión, es el de proveer válvulas, cabezales de tubería, equipo, y en general la red del Sistema de Desfogues para proteger a una planta en las situaciones de emergencia en forma óptima y eficiente.

"Sobrepresión".

Existen muchas causas y circunstancias que pueden llevar a un sistema determinado o proceso en particular a un descontrol en la operación normal y a un aumento de la presión en el mismo.

Como ya se mencionó, la "sobrepresión" es provocada por alteraciones en el flujo normal de materia o energía, y en algunos casos de ambos.

Existen diferentes situaciones que pueden provocar la elevación de la presión en un proceso, el análisis de causas y magnitud de la "sobrepresión" representa la realización de un estudio especial y completo del proceso, ésto se hace con el fin de cubrir todos los aspectos y eventos que potencialmente pudieran causar un descontrol en la operación y por lo tanto una situación insegura del proceso.

Un diseño adecuado de válvulas de seguridad, arreglos (rutas y elevaciones) de cabezales de tubería y de todos los componentes que forman parte del Sistema de Desfogues en general, incluye un riguroso análisis, que puede requerir de tanta atención por parte de los ingenieros diseñadores como si se tratase del diseño del más sofisticado reactor; el diseño de estos sistemas requiere de la atención de los grupos de especialistas tales como: ingenieros de proceso, ingenieros de sistemas (tuberías y flexibilidad), ingenieros de seguridad industrial, ingenieros mecánicos, así como de los ingenieros de producción, a fin de que todos ellos aporten sus conocimientos técnicos y su experiencia en el análisis y desarrollo del sistema.

El análisis debe realizarse no sólo para proteger las unidades de proceso, la salud y seguridad del personal en la operación, sino que también debe fructificar en una substancial reducción de costos del equipo y accesorios requeridos. Un "sistema seguro" no necesariamente es el "sistema más costoso", más bien es el sistema que cuenta con el equipo adecuado en el lugar adecuado al mejor costo.

El aspecto más crítico del diseño, está en identificar las posibles contingencias o emergencias probables que pudieran presentarse, ésto basándose en la descripción del proceso, y en la experiencia

obtenida de situaciones semejantes, el ingeniero de proceso debe determinar cuales emergencias pueden ocurrir y cuales son virtualmente imposibles de acontecer.

En este trabajo sólo se mencionarán algunas de las posibles circunstancias que pueden elevar la presión normal de un proceso o sistema, tratando así de cubrir las mayores y más comunes situaciones que llegan a ocurrir, esto no significa de ninguna manera que sean las únicas causas de "sobrepresión", cualquier circunstancia que razonablemente constituya un peligro en determinadas condiciones que puedan prevalecer para una sistema debe ser analizada cuidadosamente y considerada para el diseño.

Cabe aclarar que no debe confundirse el fenómeno de "sobrepresión" con el de alta presión desarrollada por una explosión, esto es, la "sobrepresión" es un proceso gradual y generalmente ocurre en períodos que van desde segundos hasta varias horas, ésta puede ser controlada por diversos medios tales como los dispositivos de alivio o por sistemas de enfriamiento por ejemplo. No es así en las explosiones, ya sea que se trate de vapores, líquidos o sólidos, en estos casos la combinación de un rápido incremento en la presión, la expansión rápida de un gas, y la propagación de una flama ocasionan un incremento de presión rápidamente, el pico de máxima presión se alcanza en milisegundos, y esta elevación de presión causa grandes daños ya que se producen ondas de choque provocando efectos desastrosos, algunos medios para proporcionar protección contra la presión generada producto de una explosión son: confinamiento total, dirigir la explosión hacia una área segura por medio del uso de barricadas adecuadas y de sistemas de supresión, en algunos casos se utilizan grandes discos de ruptura para aliviar el sistema.

Dispositivos para Alivio de Presión.

Esencialmente, un dispositivo de alivio de presión consiste en un elemento mecánico de cierre, elástico o rígido, cuya resistencia es vencida a una cierta presión prefijada, permitiendo la apertura de una vía lo suficientemente amplia como para dar salida a un determinado caudal de fluido que ha de ser suficiente para evitar que la presión siga subiendo por encima de los límites tolerables.

Sistema de Desfogues.

Los sistemas o accesorios de relevo de presión, son instalados para asegurar el proceso o alguno de sus componentes, a fin de no permitir que la presión exceda el valor de "máxima presión permisible acumulada" en algún componente del sistema protegido.

Los criterios de diseño para los sistemas de relevo están en función de si en la descarga de los dispositivos de alivio se presenta un gas, un vapor o una fase líquida, además debe considerarse el tipo y características del fluido de que se trate.

DENTRO DE LOS SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESIÓN SE CONSIDERAN DOS CLASES:

- **Sistemas de Alivio Abiertos:** la masa relevada entra en contacto directo con la atmósfera al ocurrir el relevo.
- **Sistemas de Alivio Cerrados:** el fluido relevado no debe entrar en contacto con la atmósfera, en este caso se deben dirigir los relevos a una sistema adecuado de disposición y tratamiento, de acuerdo con las características y propiedades físicas del fluido liberado.

La selección del uso de un determinado sistema, depende de varios factores, por ejemplo, el peso molecular del fluido, la difusión de éste en el aire, su grado de toxicidad, corrosión e inflamabilidad, la disponibilidad de espacio, etc.; se debe dar una especial consideración a los cambios de fase como la vaporización o la condensación, ya que esto puede ocurrir debido a la reducción de presión y al enfriamiento que puede presentarse, la selección también depende de la política de la empresa, del criterio del diseñador, de los reglamentos locales, estatales o federales relacionados con la contaminación y el ruido, etc..

El Sistema de Desfogues como tal, debe ser un sistema cerrado efectivo para controlar la "sobrepresión" generada en una planta química o petroquímica, debido a la falla en algún equipo, o bien debido a alguna situación como las que se mencionan a continuación:

- ✓ Falla de agua de enfriamiento.
- ✓ Falla de energía eléctrica.
- ✓ Falla de aire de instrumentos.
- ✓ Bloqueos en las entradas o salidas de los diferentes equipos o tuberías, etc..

Posteriormente se mencionarán y analizarán con más detalle cada una de las situaciones causantes de la elevación de presión en un proceso.

Códigos y Especificaciones.

Los códigos involucrados y las especificaciones que deben ser consideradas para el diseño de un Sistema de Desfogues son factores importantes en el desarrollo de dicho diseño.

Para el dimensionamiento de un sistema de protección por "sobrepresión" se deben tomar en cuenta los códigos internacionales y los locales de un sitio determinado, así como también hay que considerar los estándares y especificaciones del cliente.

Las normas API RP 520 Partes I y II "Recommended Practice for the Design and Installation of Pressure-Relieving Systems in Refineries" y API RP 521 "Guide for Pressure Relief and Depressuring Systems" (American Petroleum Institute) dan una serie de lineamientos generales para establecer las cargas a relevar, y así aliviar la presión excedente originada por diferentes causas, también sugieren como se conforman los Sistemas de Alivio Cerrados para el manejo de los fluidos relevados, sugieren la manera de dimensionar las válvulas de relevo y dan recomendaciones prácticas para la instalación de estos dispositivos. Aunque estos códigos aplican y están destinados para ser usados en los diseños de las plantas de refinación y petroquímica, son también adecuados para otros tipos de plantas de procesos químicos.

En forma similar, las cargas de alivio en calderas y sobrecalentadores se describen en el apéndice A-12 y en la sección PG-67 del código ASME (American Society of Mechanical Engineers) Sección I Calderas.

El diseño general de los dispositivos de seguridad para todos los recipientes que están sometidos a presión se describe en los párrafos UG-125 al UG-134 de la Sección VIII, Div. 1 del mismo código ASME, en estas partes se presentan las bases sobre las cuales se diseñan la mayor parte de estos dispositivos. El código ASME especifica las prácticas seguras para diseño, construcción, inspección y reparación de recipientes a presión sin fuego que no sean generadores de vapor.

El diseño mecánico de las tuberías de desfogue deberá cumplir con lo especificado en el código ANSI B-31.3 (American National Standards Institute).

Entre otros códigos aplicables está también el ASTM (American Standards for Testing and Materials).

El NFPA (National Fire Protection Association), tiene una aplicación práctica en el diseño de un sistema de protección por "sobrepresión", incluye información relacionada con la formación de mezclas inflamables y con la prevención de todo lo que pudiera causar un riesgo o peligro de incendio en alguna situación de emergencia o falla de algún equipo que provoque el descontrol en el proceso, en este código también se incluyen algunas propiedades físicas de muchos compuestos, esta información es de gran utilidad ya que el modo de disponer de los fluidos relevados depende de muchos factores como lo son las propiedades físicas de los fluidos desfogados.

Definiciones.

Existe una serie de términos específicos que hace falta definir antes de continuar con la lectura de esta guía, algunos de ellos están definidos en los reglamentos y normas aplicables al diseño.

Aquí se presentan breves descripciones sobre los dispositivos de alivio de presión, así mismo se definen algunos términos comunes que se utilizan en el diseño de los sistemas para el relevo del exceso de presión.

Acumulación. Es el máximo incremento de presión por encima de la de diseño que se permite durante un proceso de venteo de emergencia, normalmente expresado en porcentaje sobre la presión de diseño manométrica. El código ASME permite un 33 % para tuberías, 21 % en caso de fuego, y 10 % en los demás casos.

Contrapresión (back pressure). Es la presión que existe en la descarga de la válvula, puede ser impuesta o de flujo, la primera es constante, por ejemplo, la atmosférica, la segunda es debida a la caída de presión en la línea de descarga de la válvula y sólo existe durante el relevo.

Disco de Ruptura. Es un diafragma delgado, puede ser de metal, plástico, o de metal recubierto con plástico, es colocado entre bridas y está diseñado para destruirse a una presión predeterminada.

Máxima Presión de Trabajo Permisible (maximum allowable working pressure). Es la máxima presión permisible en el recipiente considerado a la temperatura de diseño, es decir es la "presión de diseño".

Presión de Ajuste (set pressure). Es la presión a la que está diseñado el dispositivo de alivio para su apertura.

Presión de Diseño. Es la presión utilizada para el diseño de un recipiente, para determinar así el espesor mínimo permisible requerido para el servicio.

Presión de Operación. Es la presión manométrica a la cual un recipiente es usualmente utilizado en su servicio.

Presión de Relevo. Es igual a la "presión de ajuste" más la "sobrepresión".

Reasentamiento (blowdown). Es la diferencia entre la "presión de ajuste" y la presión a la que vuelve a cerrar la válvula (es decir: la baja de presión necesaria para que la válvula vuelva a cerrarse), y es expresada en porcentaje de la "presión de ajuste" manométrica.

Sobrepresión (over pressure). Ésta es el equivalente a la "acumulación", pero referida a la "presión de ajuste".

Válvula de Relevó. Es un dispositivo de relevó de presión automático, actuado por la presión estática ascendente de la válvula, la cual abre en proporción al incremento de la presión sobre la presión de operación, ésta es utilizada principalmente para servicio líquido.

Válvula de Seguridad. Es un dispositivo de relevó de presión automático, actuado por la presión estática ascendente de la válvula, y caracterizada por una apertura completa o acción "pop" después de la apertura, ésta es utilizada principalmente para servicio de gas y vapor, o para vapor de agua o aire.

Capítulo 3

Sistema de Desfogues.

***<< ... porque, aunque a mí ningún peligro me pone miedo,
todavía me pone recelo pensar si la pólvora y el estaño me han
de quitar la ocasión de hacerme famoso y conocido ...>>***

***El Ingenioso Hidalgo Don Quijote de la Mancha.
Miguel de Cervantes Saavedra.***

Capítulo 3

Sistema de Desfogues.

Descripción.

Los sistemas de descarga cerrada son utilizados para evitar situaciones peligrosas cuando se liberan fluidos tóxicos o inflamables, o cuando son liberadas grandes cantidades de material, o bien cuando se busca la recuperación de líquidos y gases.

El Sistema de Desfogues se usa para disponer en forma segura de los fluidos provenientes de los dispositivos de alivio de presión o provenientes de los venteos de los equipos, que de otro modo, tendrían que ser lanzados a la atmósfera, estos sistemas deben cumplir con los requisitos mínimos de seguridad comprendidos en las especificaciones y en los códigos.

Un sistema de este tipo se diseña especialmente para tratar fluidos de desecho originados en plantas químicas, en las unidades de una refinería o de un complejo industrial, en áreas de almacenamiento de producto o de materias primas, etc., ya sea durante una situación de emergencia o en el caso de un descontrol en la operación normal.

Un Sistema de Desfogues típico está formado como una sola unidad de diferentes componentes básicos, los cuales deben ser debidamente diseñados para controlar en forma eficiente y sin riesgos la "sobrepresión" generada.

COMPONENTES BÁSICOS DEL SISTEMA DE DESFOGUES:

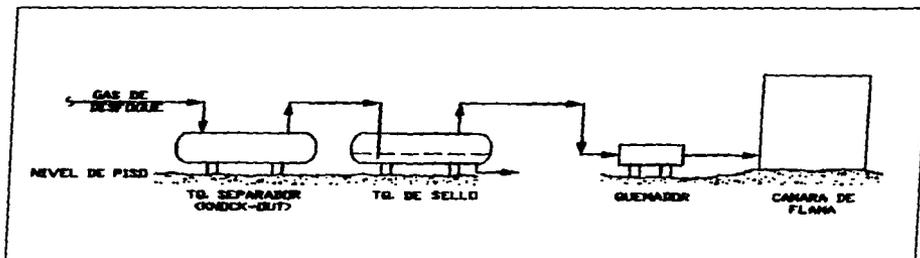
- 1. Dispositivos de Alivio de Presión.**
- 2. Cabezal de Desfogues y Líneas Secundarias.**
- 3. Recipientes y Equipo Auxiliar: tanques separadores, tanques de sello y sistemas de "vaciado".**
- 4. Venteos Atmosféricos y Quemadores de diferentes tipos: elevados y de fosa.**
- 5. Unidad de Encendido Remoto.**

La fig. 3.1 muestra un arreglo típico para los equipos que forman parte de las instalaciones a las que se hizo referencia en la tabla anterior.

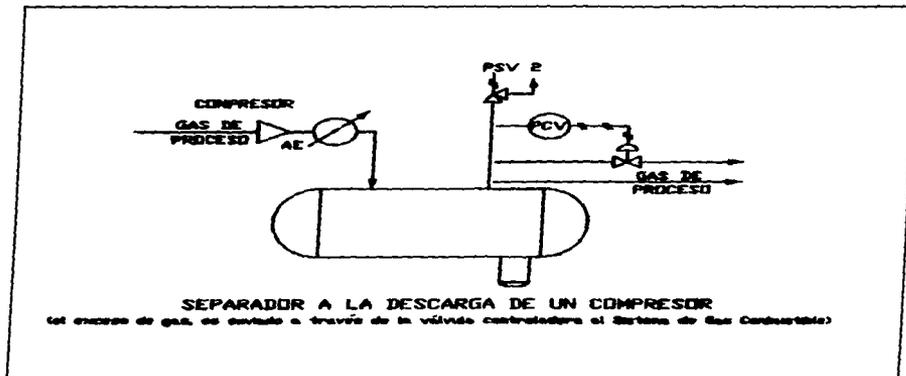
Es muy importante recordar que este tipo de sistema de protección por "sobrepresión" es diseñado solamente con el fin de ser utilizado en el caso de alguna situación de emergencia o en algún descontrol del proceso cuando éste ya se encontraba en operación normal. Para ajustar condiciones de operación en el proceso, como en el caso de los "arranques", no es deseable relevar presión por medio de los dispositivos de alivio, ya que después de "disparar" es difícil que se vuelvan a reajustar a la "presión de disparo", es decir, se pueden llegar a descalibrar, esto da como resultado fugas que pueden generar situaciones de peligro, además de la disminución en la recuperación de productos valiosos.

Por lo anterior, para ajustes de presión o control de la misma, en situaciones que no representan una emergencia, son utilizadas válvulas de control de presión, o válvulas operadas con motor o por medio de válvulas solenoides para despresurizar el sistema. Además debido a que los costos de energía se elevan cada vez más, se ha puesto mayor interés en disminuir la cantidad de material que es enviado a los quemadores.

En la fig. 3.2 se muestra un ejemplo de lo anterior, se ilustra un método en el cual el exceso de presión de gas producido es enviado al Sistema de Gas Combustible por medio de una válvula controladora de presión, para así ser aprovechado, de otro modo este gas tendría que ser enviado al quemador.



Arreglo típico de un Sistema de Desfogues.
fig. 3.1



Sistema típico para el aprovechamiento de los desfogues.
fig. 3.2

Cuando el diseño de un Sistema de Desfogues es parte de un proyecto, es conveniente desarrollar un plan de trabajo en donde se muestren las actividades a realizar, así como su secuencia y relación entre sí, con ésto se podrá establecer una mejor coordinación para el desarrollo de actividades y así poder marcar claramente las funciones que cada una de las especialidades involucradas en el diseño deben realizar.

Un plan típico de trabajo para desarrollar la ingeniería de un Sistema de Desfogues está formado básicamente de las siguientes cuatro fases comunes:

1. Establecimiento de bases y criterios a utilizar en el desarrollo del proyecto.
2. Dimensionamiento, determinación de rutas y elevaciones preliminares del cabezal principal y líneas secundarias, así como también el dimensionamiento de las válvulas de relevo de presión.
3. Desarrollo de la ingeniería final y procuración.
4. Construcción y pruebas en campo.

Fuentes de Emisión, Análisis de Cargas y Causas de Relevo.

Fuentes de Emisión.

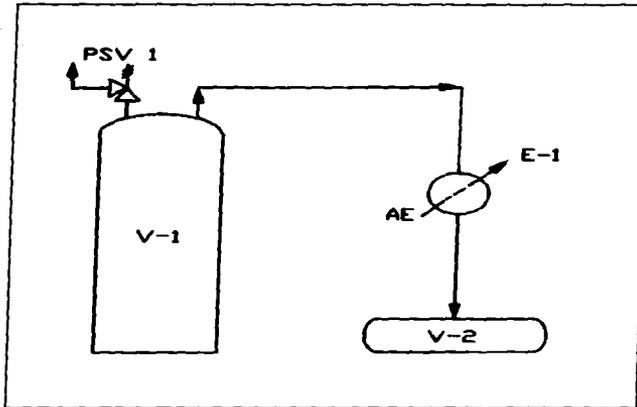
Dentro de una planta en operación cada unidad o equipo de proceso en particular se debe estudiar y evaluar individualmente, ya que pudiera resultar con la posibilidad de "sobrepresión", ésto debe hacerse para cada contingencia o desfogue que se pueda presentar. Cada pieza o equipo que pudiera generar una carga de vapor o de líquido a relevar bajo alguna situación que provoque "sobrepresión" debe ser considerada.

Cuando una condición de emergencia es analizada, todos los efectos relacionados directamente con ésto que pudieran presentarse deben ser tomados en cuenta.

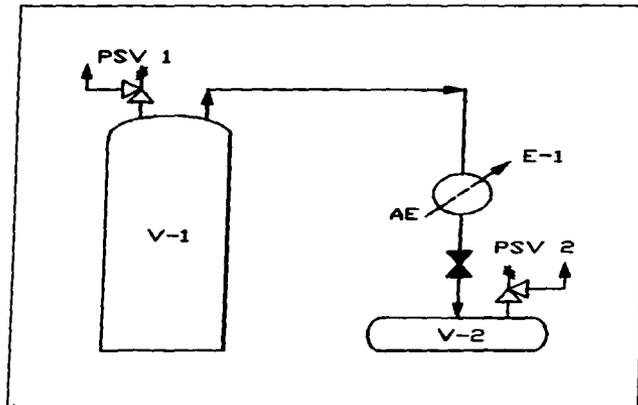
Si cierta causa de desfogue afecta a más de una unidad, todas las unidades que se involucren deben ser consideradas y evaluadas como una sola, con el fin de diseñar el sistema para la condición *máxima y crítica* de operación. Se debe analizar cada unidad o equipo de manera individual, para determinar como se comportaría cada uno y cual sería su efecto en el sistema de protección al presentarse la elevación de presión durante el proceso. El criterio anterior aplica lo mismo para una planta completa que para un conjunto de plantas que integran una refinería o algún complejo industrial.

Por otro lado, cuando se tiene el caso de equipo interconectado con un sistema de tuberías que no incluyen válvulas de corte o bloqueo entre los equipos, es posible considerar al sistema como una sola unidad para el diseño e instalación del sistema de protección, en este caso se debe tener el cuidado de analizar cada una de las diferentes causas de relevo que se puedan presentar en todos y cada uno de los equipos que conforman el sistema a proteger, para que de este modo se seleccione la condición más crítica de relevo que lleve a un diseño seguro y efectivo de protección.

Como ejemplo de lo anterior, en la fig. 3.3 se ilustra la interconexión de tres diferentes equipos protegidos con una sola válvula de relevo PSV-1. Cuando los equipos se encuentran aislados con válvulas de corte entre ellos se requiere una válvula de relevo por cada uno, en el ejemplo de la fig. 3.4 la PSV-1 protege al equipo V-1 y al E-1, y la PSV-2 protege al V-2.



*Interconexión como una sola unidad.
fig. 3.3*



*Unidades con bloqueo entre ellas.
fig. 3.4*

Para elegir las condiciones críticas para una sola unidad, se deben analizar: flujos máximos, condiciones de presión y temperatura de relevo, y sobre todo las presiones de diseño de los equipos, ya que la menor de cualquiera de ellos que conforman la unidad será la presión de ajuste del dispositivo de alivio del sistema.

El código ASME permite tener válvulas de corte entre los equipos y el dispositivo de alivio, o entre los equipos que se elija considerar como una sola unidad, siempre y cuando las válvulas de corte sean aseguradas en posición abierta con algún candado o algún otro dispositivo que evite que los operadores las puedan cerrar por error.

Análisis de Cargas.

El aspecto más crítico a considerar en el dimensionamiento de un Sistema de Desfogues, y que sirve para establecer las bases de diseño para el mismo, es el de reconocer cuales serán las posibles situaciones que puedan provocar un descontrol en la operación de un proceso con su consecuente "sobrepresión".

El primer requerimiento en el diseño de un Sistema de Desfogues, es el de llevar a cabo un análisis detallado de todas las situaciones posibles que involucren una descarga de fluidos desde los dispositivos de alivio de presión dentro del mismo sistema, a fin de determinar la carga máxima en cualquier condición de emergencia.

La carga máxima en un sistema, como ya se mencionó, es la suma de las cargas individuales que se presentan bajo una condición determinada, y es la que exige la mayor pérdida de presión en todo el Sistema de Desfogues, es importante observar que no es necesariamente la mayor cantidad de material por unidad de tiempo que debe descargar un sistema, por ejemplo, un vapor que tenga un peso molecular de 12 y un flujo de 100 000 lb / hr a una temperatura de 300 °F, produce mayor caída de presión y mayor esfuerzo en el sistema que 150 000 lb / hr de un vapor con peso molecular de 44 y que es descargado a 100 °F.

La "sobrepresión" que ocurre por un acontecimiento específico y que causa la mayor carga al sistema, es la única que debe ser considerada para el diseño dado que es improbable que ocurran dos o más eventos causantes de "sobrepresión" no relacionados a la vez, para tener más claro este concepto se tienen los siguientes ejemplos que "son factibles" de ocurrir y que por lo tanto deben ser considerados para el diseño:

- ✓ Un fuego que afecte el exterior del recipiente en estudio.
- ✓ El bloqueo en posición cerrada de la válvula de entrada de agua de enfriamiento a un reactor.
- ✓ Un fuego que afecte a un recipiente que haya estado bloqueado, provocando así una expansión térmica.
- ✓ La rotura de algún tubo en un intercambiador de calor, etc..

Los siguientes ejemplos "no son factibles", por lo que para el diseño no deben considerarse:

- ✓ Que se declare un fuego, y que al mismo tiempo falle una válvula de control por causa ajena al fuego.
- ✓ Que fallen simultáneamente dos sistemas de refrigeración alternativos.

El tamaño de las tuberías para la descarga individual de cada válvula de relevo se calcula para el flujo máximo a pasar por éstas, pero los diámetros de tubería para las secciones de un cabezal principal o de líneas secundarias que recolectan los flujos provenientes de diferentes descargas de válvulas deben ser del tamaño adecuado para manejar la carga máxima de relevo de la planta.

Para realizar el diseño adecuado de cualquier Sistema de Desfogues, es necesario la elaboración de diagramas que muestren las diferentes situaciones o fallas que se presentarán en los equipos de una planta, o en cada una de las diferentes plantas cuando se trata de un complejo industrial.

Los diagramas que se deben elaborar son:

1. **Diagrama de Bolques.** Aquí se muestra la localización del equipo sobre un plano general.
2. **Balance de Desfogues.** Es el primer paso a dar para efectuar el análisis, en el se muestra el arreglo y localización de las fuentes de emisión de los desfogues, ya sea que se trate de equipos o de plantas de proceso, además aquí se deben indicar datos tales como: flujo emitido, peso molecular, temperatura y presión de relevo.
3. **Análisis de Cargas.** En este diagrama se indican en forma completa las diferentes situaciones de emergencia de cada uno de los equipos o plantas a proteger, así como la dependencia de alguno de los servicios auxiliares de la planta o la causa considerada para el desfogue.

La combinación de estos diagramas permitirá conocer todas y cada una de las situaciones para las que deberá ser diseñado el sistema, así como también darán las bases para definir el "equipo auxiliar" a ser utilizado.

Al iniciar un proyecto en donde se requerirá el diseño de un sistema de protección por "sobrepresión", y una vez establecidas claramente las bases de diseño para el mismo, para realizar los diagramas de Balance y de Análisis de Cargas, se hace necesario contar con la siguiente información: la composición y las propiedades físicas de las diferentes corrientes del proceso, se requieren también los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's), los planos mecánicos de los equipos a proteger, las hojas de datos y las especificaciones de los equipos, también se requieren los arreglos de equipo y el plano del arreglo general de la planta, así como un plano en donde se indiquen las condiciones del Límite de Batería de la planta protegida.

Se debe recordar que ninguna carga que se pudiera relevar al Sistema de Desfogues por "mínima" que parezca se debe dejar de considerar. En una refinería de los Estados Unidos, se presentó un accidente cuando un intercambiador de calor fué bloqueado por el lado de los tubos, mientras que el medio de calentamiento circulaba por la coraza, entonces se presentó una expansión térmica del líquido que causó la ruptura del equipo, provocando la muerte de uno de los operadores y causando serios daños a otros, este desastre pudo haber sido evitado con una simple válvula de relevo de 3/4" x 3/4".

Causas de Relevo.

La "sobrepresión" en los recipientes o en las líneas de un proceso, la puede ocasionar muchas situaciones tales como: un incendio, el llenado excesivo de un recipiente, la apertura o cierre accidental de válvulas, demasiada carga de calor, reacciones exotérmicas fuera de control, enfriamiento inadecuado, fallas mecánicas en válvulas, etc..

Cualquiera que fuere la razón del aumento de presión es esencial que tanto los dispositivos de alivio de presión, como todo el Sistema de Desfogues en general, tengan la capacidad adecuada para evitar accidentes y proteger al equipo y a la unidad de proceso.

Con frecuencia se tiene que un dispositivo de relevo debe proteger a un equipo sometido a "sobrepresión" por una serie de causas sin relación entre sí, el tamaño de este dispositivo se debe determinar para cada una de las diferentes situaciones que se presenten, y debe ser el adecuado para manejar la condición de carga máxima de relevo. En caso que la diferencia de flujo a relevar por diferentes causas para una misma unidad sea muy grande, se deben poner dos o más válvulas para cada una de las diferentes causas.

El diseñador del proceso debe desarrollar un estudio para prevenir la "sobrepresión", y sobre todo para elegir y proporcionar los medios adecuados para poder soportar la presión en cualquier parte de un equipo determinado cuando se excede la máxima presión acumulada permisible (MAWP).

Para diseñar el sistema de protección se debe tener en cuenta la posibilidad de errores humanos en la operación, ya que una operación incorrecta se puede reflejar en un exceso de presión en el sistema.

Las principales causas de "sobrepresión" listadas a continuación son sólo una guía práctica que generalmente se utiliza para desarrollar un diseño seguro, sin embargo, pueden existir otras posibilidades y condiciones que deban ser consideradas en este diseño.

PRINCIPALES CAUSAS DE "SOBREPRESIÓN":

- **Fallas Operacionales.**
- **Incendios en la Planta de Proceso.**

Fallas Operacionales.

Las fallas típicas en la operación son causadas por cierres o bloques de las salidas en los recipientes, por fallas en los servicios auxiliares, y por otras diversas situaciones las cuales se mencionan en esta sección.

Salidas cerradas en los recipientes.

El cierre inadvertido de una válvula de bloqueo en las salida de un recipiente a presión, mientras está en operación una planta, puede provocar una exposición del recipiente a una presión que exceda la máxima presión de trabajo permisible, si la válvula no se asegura en posición abierta, se requiere un accesorio de relevo de presión. Las válvulas de control deben ser consideradas como posibles cierres, si es que éstas no están especificadas para que a falla de señal "abran", como ejemplos de este caso tenemos:

- ✓ Las secciones cerradas o bloqueadas de tubos llenos con líquido frío expuestas al sol o una fuente de calor se deben proteger con válvulas de alivio, de otro modo se pueden romper los tubos por la dilatación del líquido atrapado.
- ✓ Se requiere una válvula de relevo en el lado frío de un intercambiador de calor, si es que la instalación permite bloquear este lado mientras circula un fluido caliente por el otro lado del equipo.
- ✓ Si es posible bloquear el líquido que circula en los serpentines de un calentador a fuego, se debe contar también con medios adecuados de alivio de presión, ya que se puede presentar el mismo efecto

del caso anterior. La válvula de alivio se debe ubicar en el lado de salida del serpentín para que haya flujo en él y evitar así la formación de carbón en caso de bloqueo.

- ✓ También se necesita una válvula de relevo en el serpentín de vapor sobrecalentado de la caldera de la fig. 3.5, por la posibilidad de que el equipo inicie su operación con las válvulas cerradas en los serpentines de vapor.
- ✓ Los compresores y las bombas recíprocantes, las bombas de engranes, y el lado de descarga de las turbinas deben ser protegidos con dispositivos de alivio, la representación de estos arreglos para los equipos se muestra en la fig. 3.6.

Apertura inadvertida de una válvula.

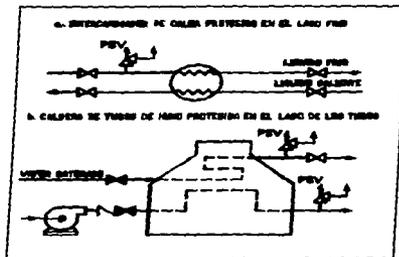
La apertura inadvertida de una válvula cualquiera desde una fuente de mayor presión debe ser considerada, ya que se puede requerir de una válvula de relevo. La falla de una válvula de retención al cerrar puede causar el mismo efecto que el de apertura inadvertida de una válvula.

Falla en los "servicios auxiliares".

Las consecuencias generadas de la falla o pérdida de algún servicio, ya sea de tipo local o en toda la planta deben ser analizadas cuidadosamente, éste es un punto importante, ya que las emisiones por falla de servicios en la mayoría de los casos determinan la carga controlante del Sistema de Desfogues.

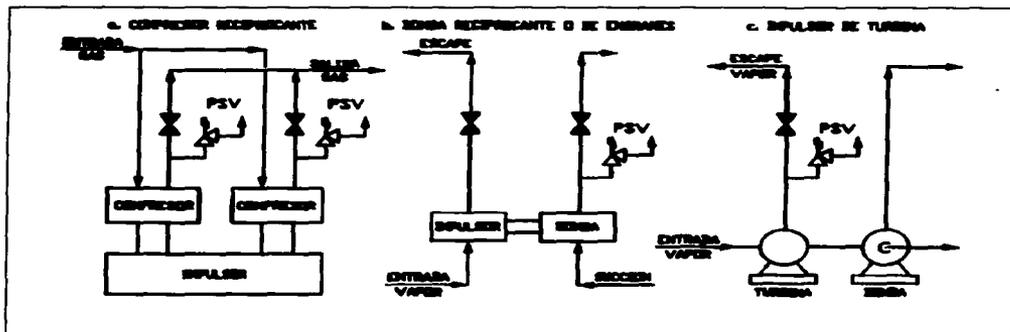
Para ilustrar algunas de estas fallas de servicios se hará referencia al sistema de una columna de fraccionamiento, representado en la fig. 3.7, una forma de causar "sobrepresión" es bloqueando la línea de vapor de salida del domo de la torre, otra situación que puede ocasionar este problema es la falla de reflujo que causa elevación de presión debido al inundamiento de los condensadores, esta situación puede ser causada por falla de la bomba o por falla en un instrumento, o bien debido a la falla de agua de enfriamiento.

La evaluación del efecto de la "sobrepresión" atribuible a la pérdida parcial de un "servicio auxiliar" en particular, debe incluir el estudio de la cadena de eventos que podrían ocurrir en el tiempo de reacción involucrado, en situaciones donde el equipo falla, pero opera en paralelo con otros equipos que tienen diferentes fuentes de energía, se puede dar crédito de operación para el equipo no afectado y operando si el servicio es mantenido.

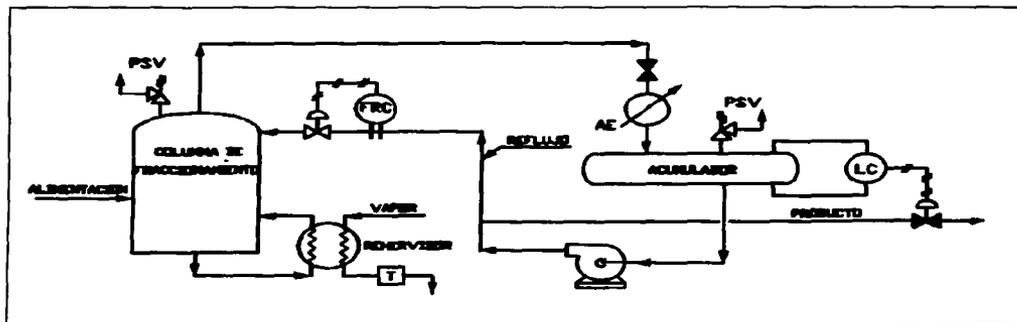


Las tuberías de líquido bloqueadas requieren Sistemas de Alivio de Presión.

fig. 3.5



Bombas, compresores y turbinas requieren válvulas de alivio.
fig. 3.6



Esta columna puede presentar "sobrepresión" por bloqueo, falla de agua, equipo o de instrumentos.
fig. 3.7

**SERVICIOS QUE NORMALMENTE PRESENTAN FALLA Y QUE CAUSAN
"SOBREPRESIÓN".**

SERVICIO AUXILIAR

- **Energía Eléctrica.**
- **Agua de Enfriamiento.**
- **Aire de Instrumentos.**
- **Vapor.**
- **Combustible.**
- **Gas Inerte.**

EQUIPO AFECTADO

- Bombas de agua de enfriamiento, de alimentación a calderas, de reflajo, etc..
- Ventiladores para solaires, torres de enfriamiento, o sistemas de aire de combustión.
- Compresores para vapor, aire de planta o de instrumentos, vacío o de sistemas de refrigeración.
- Instrumentación.
- Válvulas operadas con motor, etc..
- Condensadores de proceso o de servicios.
- Enfriadores de fluidos de proceso, aceite de lubricación, aceite de sello, etc..
- Chaquetas en equipo rotatorio o recíprocante.
- Transmisores y controladores.
- Válvulas reguladoras.
- Alarmas y paro de sistemas.
- Turbinas como accionadores para bombas, compresores, sopladores, ventiladores de aire para combustión, generadores eléctricos, etc..
- Rehervidores y recalentadores.
- Eyectores.
- Procesos en los que se alimenta directamente vapor.
- Bombas recíprocantes.
- Calderas.
- Evaporadores y rehervidores.
- Accionadores para bombas, generadores eléctricos, compresores, etc..
- Turbinas de gas.
- Sellos.
- Reactores catalíticos.
- Furga de instrumentos y equipos.

Fallas Mecánicas.

Este tipo de situaciones también deben ser consideradas, pues es posible que se presenten durante la operación normal, se ven afectados diferentes tipos de equipos y accesorios tales como: dispositivos normales de seguridad, equipos e instrumentos de control, turbinas de generadores de fuerza, ventiladores de soloaires o de torres de enfriamiento, etc.. Las fallas más comunes se presentan en bombas de agua de enfriamiento, en las de reflujo de las columnas de fraccionamiento, y en los tubos de los intercambiadores de calor debido a varias causas como los choques térmicos, vibración y corrosión, en este caso se debe tener en cuenta el efecto de un fluido de alta presión sobre el lado de baja presión.

La transmisión de ondas de presión a un lado y otro en un tubo lleno de líquido o vapor puede producir lo que se conoce con el nombre de "golpe de ariete", y puede ser ocasionado por el cierre rápido de una válvula en la tubería, estas ondas de presión en ocasiones llegan a causar daños mecánicos en los equipos y tuberías.

El "golpe de ariete" es un tipo de "sobrepresión" el cual no puede ser controlado efectivamente por válvulas de relevo de presión, debido a que su respuesta es demasiado lenta para este fenómeno, cuando este tipo de ondas se presentan en un fluido se deben considerar amortiguadores de pulsaciones, o bien arreglos en las tuberías como las "omegas", "U's", juntas de expansión y otros que absorban estos movimientos.

Otras condiciones que se pueden considerar como Fallas Operacionales y que generan "sobrepresión" son:

Reacciones Químicas.

Se pueden presentar debido a un descontrol de la reacción, sobre todo si se trata de una reacción exotérmica, para estos casos se utilizan además de las válvulas de seguridad o relevo, controles muy sofisticados.

Explosión interna.

Ésta no es predecible para las instalaciones de una planta productiva convencional. Para algunas reacciones químicas es factible predecir la posibilidad de una explosión, en estos casos para la protección se utilizan discos de ruptura especiales para la rápida evacuación de los vapores.

Incendios en la Planta de Proceso.

Un incendio es uno de los peligros latentes más graves en una planta o complejo industrial. Cualquier planta que opere con fluidos inflamables líquidos o gases, o en la que simplemente pueda estar presente un combustible puede estar en riesgo de que se presente algún incendio durante la operación.

Si ocurre algún fuego, el calor será absorbido por los recipientes u otros equipos que estén expuestos a las flamas, y por supuesto que ésto aplica aún para recipientes que no contienen fluidos inflamables, si esta absorción de calor continúa, se desarrollará una presión extra por la generación de vapor o la expansión del fluido, por lo que son requeridas válvulas de relevo de presión para protección de los recipientes.

La elevación de presión por causa de un fuego externo se discute y analiza de acuerdo con el código API 520 Parte I. Las previsiones para un paro controlado y / o la instalación de un sistema de despresurización para las unidades puede minimizar la exposición de los recipientes a la "sobrepresión" debida al fuego. Estos sistemas deben ser diseñados para permitir el servicio y mantenimiento sin interferir con la operación normal.

Válvulas operadas local o por medio de control automático remoto en los sistemas de despresurización pueden resultar efectivas si son trabajadas adecuadamente y con cuidado. Para limitar la generación de vapor y una posible conflagración se deberían dar facilidades para la remoción de líquidos de los sistemas y equipos expuestos al incendio. Otro método es conservar las paredes del recipiente expuesto frías por medio de la aplicación de una cortina de agua o de una neblina.

En las plantas con posibilidad de riesgo de incendio, el área de diseño debe incluir superficies fáciles de drenar para evitar la dispersión de los líquidos inflamables de una área a otra, debe ser accesible al personal contra incendio, y los monitores, hidrantes, y equipo contra fuego deben ser localizados en lugares de fácil y rápido acceso.

Se debe dar crédito del aislamiento en los equipos para los cuales se harán consideraciones para la evaluación y cuantificación del relevo que se presentará, sobre este punto se hablará más adelante.

En la tabla 3.1 a manera de resumen, se mencionan algunas causas de relevo, y la posible razón por la que se genera la falla, adicionalmente se indica la capacidad requerida para el relevo.

Dispositivos para Alivio de Presión.

El diseño general de los dispositivos de seguridad para protección de todos los recipientes a presión se describe en los códigos ASME y API, pero aún contando con el apoyo de estos códigos, el ingeniero de proceso debe seleccionar adecuadamente el dispositivo de alivio de presión para una situación específica, ya que existen disponibles diversos tipos de ellos, y aunque ninguno es adecuado para todos los servicios, cada uno es idóneo para una aplicación en particular.

En esta sección se presentan algunas características particulares en relación a el diseño y funcionamiento de los diferentes dispositivos que existen para aliviar la presión, se mencionan los efectos de su uso en un proceso determinado, las ventajas y las desventajas de los mismos, así como algunas recomendaciones prácticas para su selección y aplicación.

LOS DISPOSITIVOS PARA ALIVIO DE PRESIÓN SE DIVIDEN EN DOS GRUPOS GENERALES:

- Dispositivos que cierran por sí solos después que la necesidad de relevo de presión ha desaparecido.
- Dispositivos que permanecen abiertos hasta cerrarse de forma manual, repararse o substituirse.

El primer punto se refiere a las válvulas de relevo, y el segundo a los discos de ruptura.

Las válvulas de relevo son dispositivos automáticos, los cuales se ajustan a un valor determinado para entrar en acción, estas funciones se realizan bajo la carga de un resorte o bien también las hay que operan con la ayuda de un piloto.

Las válvulas de relevo de presión se subdividen en:

- ✓ Válvulas de seguridad. Éstas se usan para el servicio de vapores o gases, y se caracterizan por abrir completamente en forma rápida (acción "pop").

✓ **Válvulas de relevo.** Éstas son utilizadas en servicios con líquidos, y su apertura es en forma gradual con el aumento de presión en relación a la de ajuste de la válvula.

Quando es necesario efectuar pruebas periódicas, las válvulas de seguridad se deben especificar con palancas, ya sea del tipo plano o empacadas.

Si el diseño permite que se acumule líquido en el lado de descarga del disco, la válvula deberá contar con drenaje.

TABLA 3.1		
CAUSA	RAZÓN	CAPACIDAD REQUERIDA
REACCIÓN QUÍMICA.	<ul style="list-style-type: none"> - Reacción exotérmica fuera de control. - Paro del agitador. - Falta de inhibidor. - Mezcla de compuestos incompatibles. - Entrada de aire. - Generación de gases incondensables. 	Cantidad de gas o vapor generada, por la reacción o por el calor desprendido por ésta.
CALENTAMIENTO EXTERIOR.	<ul style="list-style-type: none"> - Fuego externo. - Válvula de vapor abierta. - Resistencias eléctricas. 	Cantidad de gas o vapor generada.
FALLA DE REFRIGERACIÓN.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta del medio refrigerante. - Falta de reflujo. - Falta de corriente al motor del soloaire. 	Cantidad de gas o vapor generada y no condensada.
BLOQUEO DE LÍNEAS.	<ul style="list-style-type: none"> - Líneas taponadas. - Falta en la bomba de salida. - Válvula de salida cerrada. 	Flujo de entrada.
FLUJO EXCESIVO.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta en la válvula de control. - Falta en el controlador. - Rotura de tubos. 	Diferencia entre las condiciones normales y de emergencia.
EXPANSIÓN O CONTRACCIÓN TÉRMICA.	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso bloqueado y refrigerante abierto, o viceversa. - Cambios de temperatura. 	La necesaria para evacuar la variación del volumen por unidad de tiempo.
ENTRADA DE PRODUCTOS VOLÁTILES.	<ul style="list-style-type: none"> - Entrada de agua o hidrocarburos ligeros en tanques o equipos con aceites pesados. 	Cantidad de vapor generada.
FALLA DE SERVICIOS.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de corriente eléctrica. - Falta de agua de enfriamiento. - Falta de vapor. 	Diferencia entre las condiciones normales y de emergencia.

TIPOS COMUNES DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD O DE RELEVO:

- **Convencionales:** son aquellas en las que su funcionamiento se ve afectado por la contrapresión, la cual no debe ser mayor del 10 % de la presión de ajuste.
- **Balancadas:** el efecto de la contrapresión es mínimo sobre la operación correcta de la misma, se puede tolerar un aumento en la contrapresión hasta en un 30 ó un 40 % de la presión de ajuste, sin que la capacidad de la válvula se vea disminuida, esta tolerancia está en función del fabricante de la válvula.

Los discos de ruptura se pueden utilizar en lugar de las válvulas de relevo o también pueden usarse al mismo tiempo que éstas, ya sea en un arreglo en paralelo o en serie. Algunas aplicaciones específicas para éstos son:

1. Como segundo dispositivo de relevo, es decir, en paralelo con una válvula de seguridad o de relevo, en contingencias remotas que requerirían gran capacidad de relevo.
2. Instalados corriente arriba de las válvulas de relevo de presión, para minimizar fugas de fluidos tóxicos o de alto valor económico y minimizar también la corrosión en la válvula de relevo, o también evitan el contacto de la válvula con fluidos que podrían obstruirla como en el caso de los polímeros. Por lo tanto, el disco de ruptura se puede instalar entre un recipiente y una válvula bajo carga de resorte, siempre y cuando se tenga un manómetro, libre respiración, o un indicador de rupturas o fugas.

Quando se utilizan estos discos, deben tener al menos una conexión tan grande como la zona de alivio del disco de la válvula, deben tener una presión real de ruptura garantizada con aproximación del 5 % a la presión de alivio y de apertura del disco, después de la ruptura deben ser adecuados para manejar la capacidad de la válvula sin interferencia.

3. Instalados corriente abajo de las válvulas de relevo de presión, por ejemplo, cuando hay que proteger contra corrosión los mecanismos de las válvulas que están conectadas a una cabezal común.
4. Protección contra una situación de elevación rápida de presión como lo es el caso de una explosión interna.

A continuación se dará una descripción más amplia y clara de los dispositivos para alivio de presión anteriormente mencionados.

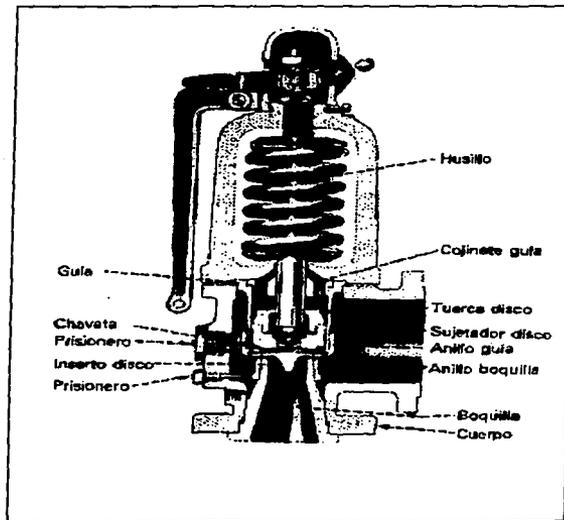
Válvula de seguridad.

Comunmente el término de válvula de seguridad se aplica a las utilizadas en servicios para vapor o gases, es normalmente utilizada en las calderas, suele tener las siguientes características generales: conexiones de entrada con brida o extremos soldables, boquilla completa o semiboquilla, resorte descubierto y palanca de elevación, ver fig. 3.8.

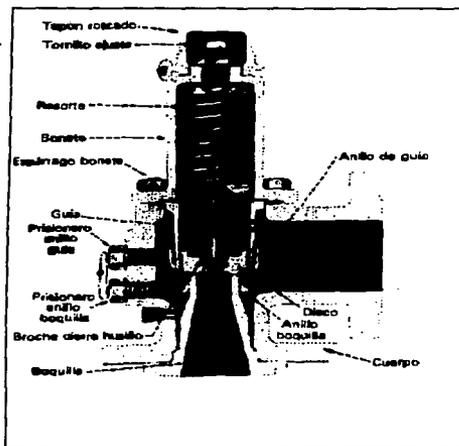
Las válvulas de seguridad que se utilizan para el vapor sobrecalentado con temperaturas mayores a los 450 °F deben tener cuerpos, bonetes y husillos de acero al carbón o de mejor calidad que éste, y los resortes deben estar totalmente al descubierto.

Las válvulas de boquilla completa, fig. 3.9, tienen conexiones con brida de cara realzada o de unión de anillo, sólo la boquilla y el disco están en contacto con el fluido cuando está la válvula cerrada. Las boquillas y discos suelen ser de acero inoxidable o de aleación, según sea la temperatura del servicio.

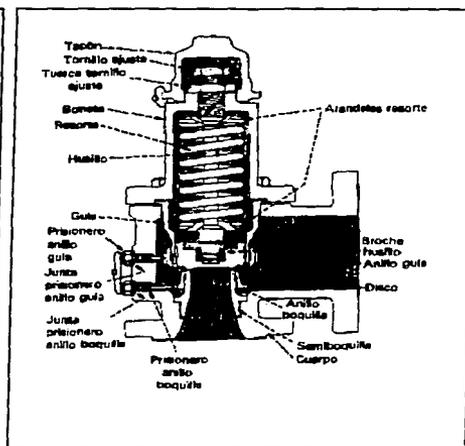
Las válvulas de semiboquilla, fig. 3.10, tienen conexiones de extremo soldable o de brida con cara realzada o plana, la boquilla es parte de la brida.



Válvula de seguridad para calderas y vapor.
fig. 3.8



Válvula de alivio de boquilla completa.
fig. 3.9



Válvula de alivio de semiboquilla.
fig. 3.10

Válvula de relevo.

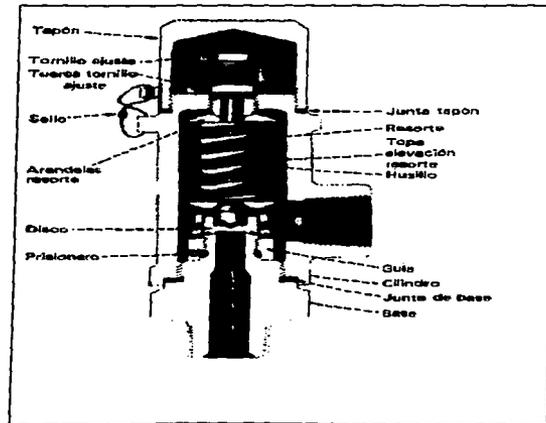
En realidad este término se aplica a cualquier dispositivo utilizado para este fin, excepto para los discos de ruptura. En términos estrictos, se debe aplicar a una válvula diseñada para servicio con líquidos, casi todas las válvulas de este tipo son pequeñas y tienen conexiones roscadas (NPT). Se les llama de boquilla en la base, fig. 3.11, esto significa que la boquilla de entrada no es una pieza aparte sino sólo un agujero taladrado en la base del cuerpo.

Todas estas válvulas tienen bonetes cerrados. Las válvulas pequeñas son hechas en bronce, algunas con asientos elásticos, se utilizan por ejemplo para la expansión térmica del agua de enfriamiento en los intercambiadores de calor de coraza y tubo.

Las válvulas de relevo suelen utilizarse también en la descarga de las bombas de desplazamiento positivo, y para la dilatación térmica de líquidos en tuberías que se puedan obstruir o que están expuestas a radiación solar u otras fuentes de calor.

Estas válvulas no suelen ser adecuadas para servicios con polímeros, éstos tienden a polimerizarse y a obstruir o pegar las válvulas.

Los materiales para los resortes de las válvulas de bonete cerrado suelen ser acero al carbón para servicios con temperaturas menores de 450 °F, a temperaturas mayores se requieren resortes con aleación de tungsteno o de acero inoxidable. Están disponibles con diferentes revestimientos para protección de la corrosión.



Válvula de alivio para tubos de descarga de bombas.
fig. 3.11

Válvulas de relevo de seguridad.

En el código ASME se indica que se pueden usar como válvulas de seguridad o como válvulas de relevo, ya que pueden tener las características de ambos tipos, excepto que siempre son de bonetes cerrados. Se utiliza bonete cerrado cuando el fluido descargado debe quedar confinado en el cuerpo de la válvula y en la tubería de descarga.

Este tipo de válvulas se puede utilizar en calderas o en servicios para vapor, cuando se utiliza en calderas debe llevar el sello de certificación ASME. Estas válvulas son obligatorias en calderas de alta temperatura, pero no se deben utilizar en los sobrecalentadores, para este servicio se requieren válvulas de seguridad.

La mayor aplicación de las válvulas de relevo de seguridad está en los recipientes a presión sin fuego, y para servicio general con vapor o aire.

Las válvulas de relevo al igual que las de seguridad no se deben emplear con polímeros, salvo que a la entrada de éstas se coloque un disco de ruptura con el fin de aislarla. Si se utilizan en algún servicio que produzca carbonización se debe utilizar una purga de vapor a la entrada.

Cálculo de las válvulas de relevo de presión:

Antes de iniciar cualquier cálculo, es necesario establecer la categoría general de la válvula de relevo de presión que será considerada.

Dado el valor de flujo a ser relevado, el procedimiento usual para la especificación de una válvula de relevo es: calcular primero el área mínima requerida en el orificio de la válvula para las condiciones dadas de operación, el segundo paso es seleccionar el tipo específico de válvula que cumpla con los requerimientos de presión y temperatura.

Aquí se presentará un método alternativo de cálculo para el área del orificio, que representa una modificación de las fórmulas generales presentadas en el código ASME Sección VIII, Div. 1, ésto es con el fin de reducir los cálculos; constantes y coeficientes son simplificados, y los factores de corrección son tabulados para gravedad específica, peso molecular, temperatura y razón de calores específicos. Estos factores pueden ser aplicados a cualquier fórmula o a la correspondiente tabla de capacidades.

Fórmulas modificadas:

AIRE - ft³ / min. 14.7 psia y 60 °F. K=1.4

$$A = V_a / 17.5 P K_t$$

VAPORES Y GASES - lbs / hr

$$A = W / 13.2 P K_m K_t K_c$$

GASES - ft³ / min. 14.7 psia y 60 °F

$$A = V / 15.5 P K_g K_t K_c$$

VAPOR DE AGUA - lbs / hr

$$A = W_s / 49 P K_{sh}$$

GAS NATURAL; 0.60 s.g. - ft³ / min

$$A = V / 22.6 P K$$

GAS NATURAL; 0.60 s.g. - ft³ / min

$$A = V / 21.7 P K_t$$

LÍQUIDOS - gpm

$$A = V_l / 24.3 (1.25 P_1 - P_2)^{1/2} K_p K_g K_u$$

Factores de corrección de capacidad:

Kc - Factor de cálculo para calor específico. $Kc = C / 315$
(Si el rango de calor específico es desconocido, use un valor conservador de $Kc = 1$)

Kg - Factor de cálculo para gravedad específica. $Kg = 1 / (G)^{1/2}$
($Kg = 1$, para aire y agua)

Km - Factor de cálculo para peso molecular. $Km = (M)^{1/2}$

Ksh - Factor de vapor sobrecalentado (ver tabla).

Kt - Factor de cálculo para temperatura. $Kt = (520)^{1/2} / (T)^{1/2}$

Las fórmulas están dadas sin incluir los factores de contrapresión, estos factores (Kb , Kv , Kw) serán aplicados como divisores según se indica:

1. - Contrapresión constante.

a) Las capacidades para vapores, gases, aire y vapor de agua, son reducidas si la contrapresión excede a la crítica, se requiere una división por el factor Kb (ver gráfica).

b) Las válvulas balanceadas son especificadas algunas veces para contrapresión constante o cero. Cuando se desea aislar las partes en contacto con fluidos corrosivos los factores de corrección son los mismos que se usan para el caso de contrapresión variable.

2.- Contrapresión variable:

a) Para vapor, aire y gases, se divide por el factor Kv , usando la gráfica con el porcentaje manométrico máximo de la contrapresión.

b) Para líquidos, las áreas son calculadas primero igual que para contrapresión constante, usando la fórmula o las tablas de capacidades del agua, luego se divide el resultado por el factor Kw de la gráfica.

Variables:

A = área del orificio (in^2).

C = constante de flujo de gases o vapores (ver tabla).

G = gravedad específica de gases o de líquidos a la temperatura de descarga.

K = razón de calores específicos, Cp / Cv .

Kb = factor de corrección para vapores o gases con contrapresiones mayores a la crítica de la curva.

Kp = factor de corrección para sobrepresiones menores del 25 % de la curva en la gráfica Kp .

Kv = factor de corrección de flujo para vapores o gases con contrapresiones variables de la curva.

Kw = factor de corrección de flujo para líquidos con contrapresiones variables, aplica a válvulas balanceadas únicamente.

M = peso molecular promedio del vapor.

P = presión de relevo (psia).

P1 = presión de ajuste a la entrada (psig).

P2 = contrapresión a la salida (psig).

T = temperatura de entrada ($^{\circ}\text{F}$ absolutos ($^{\circ}\text{F} + 460$)).

V = capacidad de gas requerida (ft^3 / min).

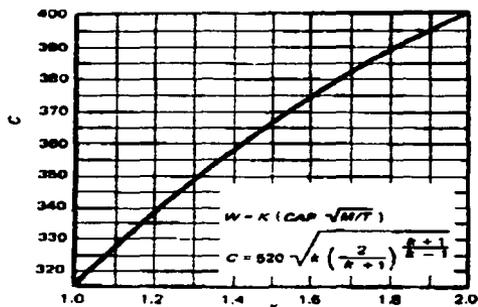
Va = capacidad de aire requerida (ft^3 / min).

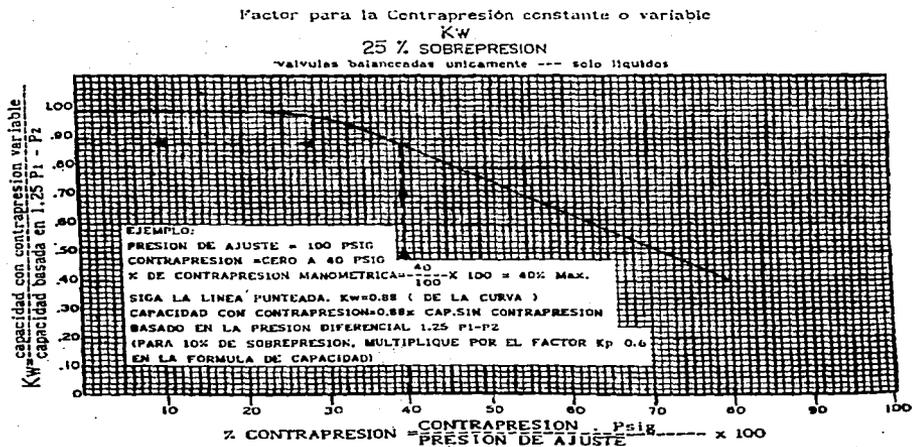
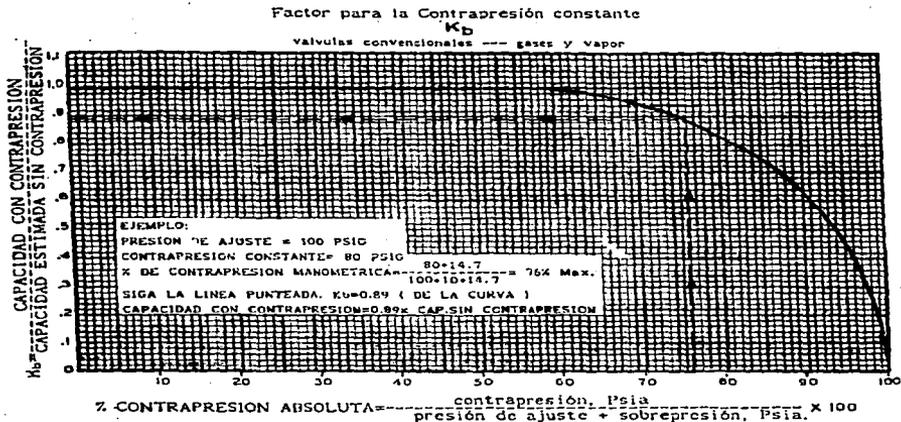
Vl = capacidad de liquido requerido (gpm).

W = capacidad de vapor o gas requerida (lbs / hr).

Ws = capacidad de vapor de agua requerida (lbs / hr).

CONSTANTE DE FLUJO DE GASES O VAPORES.					
k	CONSTANTE C	k	CONSTANTE C	k	CONSTANTE C
1.00	315	1.26	343	1.52	366
1.01	316	1.28	345	1.54	368
1.02	318	1.30	347	1.56	369
1.03	321	1.32	349	1.58	371
1.04	324	1.34	351	1.60	372
1.05	327	1.36	352	1.62	374
1.06	329	1.38	354	1.64	376
1.07	331	1.40	356	1.66	377
1.08	333	1.42	358	1.68	379
1.09	335	1.44	359	1.70	380
1.10	337	1.46	361	2.00	400
1.12	339	1.48	363	2.20	412
1.14	341	1.50	364		

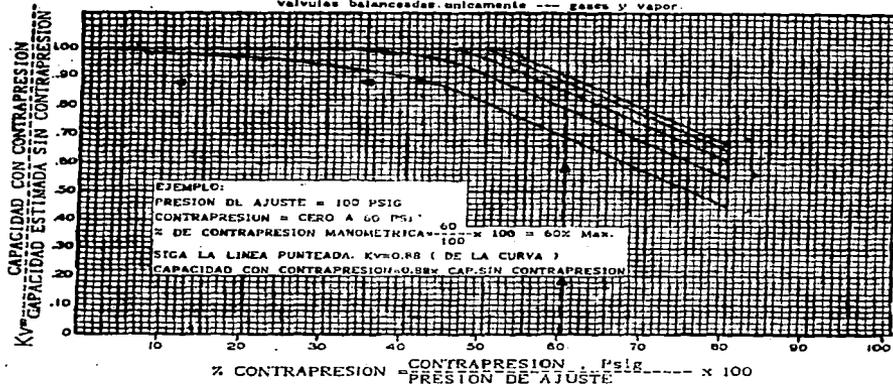




Factor para la Contrapresión constante o variable

K_v
10 % SOBREPRESION

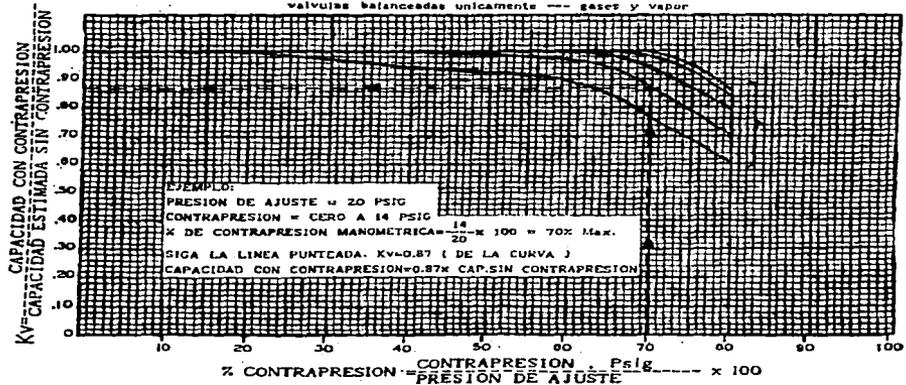
valvulas balanceadas unicamente --- gases y vapor



Factor para la Contrapresión constante o variable

K_v
21 % SOBREPRESION

valvulas balanceadas unicamente --- gases y vapor



Discos de ruptura.

Un disco de ruptura consiste en un sujetador y un disco metálico destinado a romperse o fracturarse a la presión de relevo. Los discos se pueden utilizar para proteger recipientes con presiones de diseño muy altas que excedan las capacidades de diseño de las válvulas de relevo. Además, son los indicados para grandes cantidades de flujos a relevar, toda la cabeza de un recipiente se puede diseñar como disco de ruptura. El uso del disco de ruptura como único elemento de protección por "sobrepresión" tiene un empleo limitado, debido a que puede perder todo el contenido de un sistema del proceso cuando se rompe éste. Su aplicación es más común en los procesos por lotes.

TIPOS BÁSICOS DE DISCOS DE RUPTURA:

- El convencional, que es el prebombado, tiene la desventaja que requiere una presión de graduación alrededor de 1.5 veces la de operación, esto debido a su susceptibilidad a la fatiga por cañerías, esto significa que el recipiente protegido se debe proyectar y diseñar para una presión mayor, además la presión de disparo del tipo prebombado puede ser errática.
- El de combustión laveros, éste se puede graduar a no más de 1.1 veces la presión de operación, su presión lo hace adecuado para proteger la entrada a las válvulas de relevo en servicios con líquidos sucios o con polímeros.

De estos dos tipos básicos existen en el mercado una versión modificada de ellos, en éstos ya están marcados los tipos de ruptura que se presentarán en el disco, figs. 3.12 y 3.13.

Existe un tercer tipo de disco de ruptura, y es conocido como "compuesto", es similar al convencional, pero éste está integrado por tres componentes: un soporte al vacío, una membrana de plástico o metal que sella y aísla la sección de presión del sistema protegido, y una sección de presión que consiste en una placa de metal ranurada que define la presión de estallamiento de acuerdo al tamaño y localización de estas ranuras y perforaciones, se utiliza para servicios corrosivos a bajas presiones y en tamaños pequeños.

Los discos se fabrican en diversos metales, y también están disponibles con un revestimiento en uno o en ambos lados para darles resistencia a la corrosión.

Los materiales de construcción más comunes son: aluminio, monel, inconel, y acero inoxidable austenítico, también se fabrican en grafito sólido, pero su uso es generalmente limitado para situaciones altamente corrosivas.

La mayor desventaja de los discos de ruptura es que no pueden volver a asentarse, la ruptura hace que se pierda la presión en el sistema protegido y hay que parar la unidad de proceso para reparar el disco, o bien instalar uno nuevo.

La presión de ruptura varía en forma directa con el espesor del disco y en relación inversa a el diámetro del mismo.

Para el dimensionamiento de los discos de ruptura, se deben hacer las siguientes consideraciones generales:

- ✓ Suponer que los dispositivos del disco actúan de manera semejante a un orificio de un plato plano.

- ✓ **Las pérdidas por fricción a través del tubo corto tipo boquilla son despreciables.**
- ✓ **La velocidad del flujo ascendente es despreciable.**
- ✓ **El incremento de presión es gradual, no es súbito como en el caso de las explosiones.**
- ✓ **Suponer el comportamiento de los gases y vapores como gases ideales.**
- ✓ **El coeficiente de descarga k, será igual a 0.62, de acuerdo con el código ASME. El flujo a través del dispositivo es reducido aproximadamente en un 62 % del flujo a través de una boquilla teórica, por turbulencia, y por el material del disco que se proyecta en la corriente de flujo.**

Dimensionamiento:

LÍQUIDOS - gpm	$A = VI (G)^{1/2} / 23.1 (P_o)^{1/2}$	
VAPORES Y GASES - lbs / seg	$A = (Wd / k C P) (T / M)^{1/2}$	
VAPOR DE AGUA - lbs / seg	$A = 70 Wd / k P$	(vapor saturado y seco)
	$A = 70 Wd (1 + 0.00065 D) / k P$	(vapor sobrecalentado)
	$A = 70 Wd (1 - 0.012 X) / k P$	(vapor húmedo)

Variables:

A = área del orificio (in²).

C = constante de flujo de gases o vapores (ver tabla).

D = número de grados de sobrecalentamiento (°F).

G = gravedad específica de gases o de líquidos a la temperatura de descarga.

k = coeficiente de descarga (0.62).

M = peso molecular promedio del vapor.

P = presión de relevo (psia).

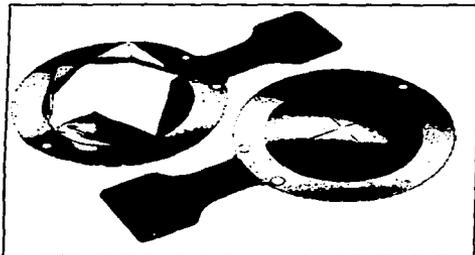
P_o = presión de relevo (psig).

T = temperatura de entrada (°F absolutos (°F + 460)).

VI = capacidad de líquido requerido (gpm).

Wd = capacidad de vapor o gas requerida (lbs / seg).

X = 100 - % calidad de vapor.



Discos marcados con el tipo de ruptura que presentarán.
fig. 3.12

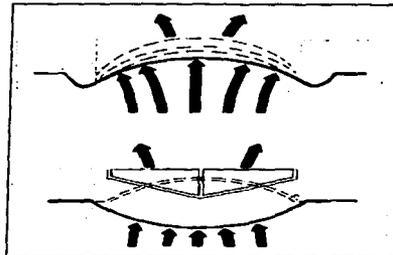


fig. 3.13

Válvulas y dispositivos especiales para alivio de presión.

Válvula "centinela".

Es una válvula pequeña y del tipo disparo, avisa al operador de un aumento excesivo en la presión, la válvula de alivio con diafragma se utiliza para materiales corrosivos.

Válvulas operadas con piloto.

Son válvulas de relevo de seguridad, y no se deben utilizar con pastas aguadas o con polímeros porque se puede obstruir el piloto, fig. 3.14, son excelentes para el servicio con gas de alta presión y a temperaturas menores a 300 °F, no deben ser empleadas a temperaturas mayores.

Estas válvulas constan de dos componentes: la válvula principal y la piloto.

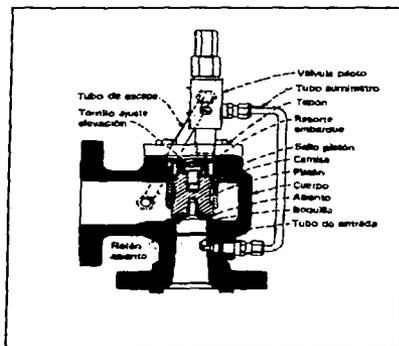
La válvula principal tiene un pistón con una superficie transversal más grande en el lado de descarga (superior) que en el lado de entrada, la válvula piloto trabaja bajo carga de resorte y se abre a la presión de alivio, aplica la fuerza de un gas o de un líquido a la misma presión que la del proceso, por tanto, el pistón tiene la misma presión en la parte superior e inferior, y la superficie mayor en la parte superior produce más fuerza para empujar al pistón hacia abajo contra su asiento, entonces la válvula asienta con mayor fuerza conforme aumenta la presión de funcionamiento.

Esta válvula se puede graduar a presiones ligeramente más altas que la de operación y no oscilará, por lo que este tipo de válvulas permite especificar una presión más baja de diseño en servicios de alta presión, reduciendo de este modo el costo en materiales y en fabricación.

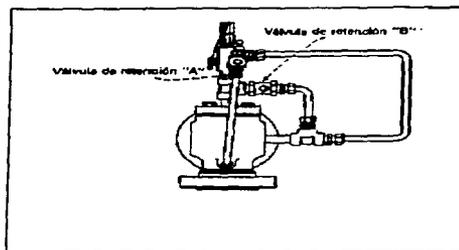
Cuando una válvula operada con piloto está sometida a contrapresión, el pistón se puede elevar y permitir un flujo inverso, salvo que se cuente con algún mecanismo para impedirlo. El flujo inverso puede ocurrir cuando hay cierto número de válvulas conectadas a un cabezal común de descarga, y quizá una o más de ellas descarguen mientras otras están fuera de servicio, la posibilidad de flujo inverso se puede eliminar con el empleo de válvulas de retención, fig. 3.15.

Las válvulas operadas con piloto también tienen las siguientes ventajas:

1. Si la tubería lo permite, se pueden operar a control remoto para la purga manual del sistema.
2. Si la válvula piloto se monta cerca del recipiente protegido, la válvula principal puede estar a una distancia considerable y no se moverá porque la válvula piloto no está expuesta a los efectos de las pérdidas por fricción en la tubería.
3. Las válvulas con piloto pueden soportar contrapresiones muy altas, hasta del 90 % de la presión de ajuste si es que tienen bridas de salida modificadas. ésto las hace ideales para la protección de compresores alternativos de etapas múltiples.



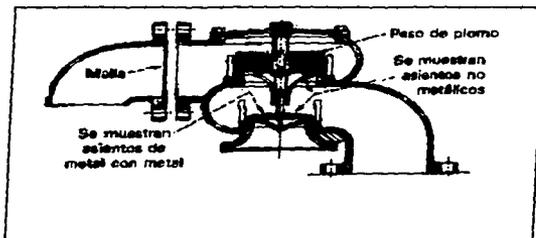
Válvula operada con piloto.
fig. 3.14



Las válvulas de retención impiden el flujo inverso.
fig. 3.15

Venteos en tanques.

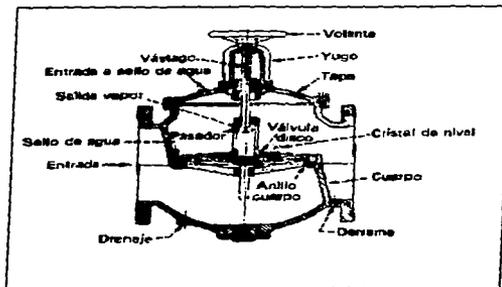
Los tanques de almacenamiento a presión atmosférica se pueden proteger con válvulas destinadas a presiones negativas o positivas muy bajas. Estas válvulas típicas son las combinadas para alivio de presión y vacío, y suelen tener paletas con pesos de plomo. fig. 3.16. el código aplicable para el diseño de esta protección en los tanques atmosféricos es el API RP 2000.



*Respiradero para tanques de almacenamiento atmosféricos.
fig. 3.16*

Válvula de alivio tipo atmosférico.

La pérdida de agua de enfriamiento en los condensadores de superficie utilizados para las turbinas no le permite obviamente condensar el vapor, por lo tanto, surge la necesidad inmediata de relevar gran cantidad de vapor, para lo que se requieren válvulas de alivio de gran capacidad, existen dos tipos de éstas: paleta con pesos, ver fig. 3.17 y de orificios múltiples, y son ajustadas para relevar a presión atmosférica o ligeramente mayor. El tamaño de estas válvulas se puede determinar de acuerdo con las normas del HEI (Heat Exchange Institute).



*Relevo atmosférico para condensadores de superficie.
fig. 3.17*

Como se ha visto, existen diferentes dispositivos para protección por "sobrepresión", para poder elegir cual de ellos es adecuado para un servicio determinado o cuando dos de ellos deben ser utilizados en un mismo servicio, se deben conocer las características de funcionamiento de cada uno, así como su efecto al ser utilizados en un determinado proceso.

Para realizar esta selección se debe recordar que existen diferentes factores que afectan el funcionamiento de estos dispositivos como son: la geometría del sistema (que se refiere a las dimensiones relativas del recipiente o sistema a proteger), temperatura, viscosidad, contrapresión, cristalización, lodos, gravedad específica, pulsaciones, etc..

La tabla 3.2 presenta un resumen para tener una visión rápida y general de los diferentes dispositivos que existen para el alivio de presión, es una guía que puede ser de utilidad para realizar la selección adecuada de los mismos, en esta tabla se presentan algunas características generales, ventajas y desventajas, así como usos típicos de estos dispositivos de protección.

TABLA 3.2				
DISPOSITIVO DE ALIVIO	GENERAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SERVICIO RECOMENDADO
VÁLVULA DE SEGURIDAD.	Disponible con semiboquilla o boquilla completa, tiene resorte desdoblado y palanca de elevación.	Bonete abierto, aisla al resorte de la temperatura del proceso, vuelve a cerrar después de descargar.	Sólo para vapor de agua, no las hay con fuelle equilibrado; pero no descarga en sistemas cerrados.	Calderas y servicios en general con vapor (ASME).
VÁLVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD CON BOQUILLA COMPLETA.	La boquilla es la cara realzada de la brida, se emplea con líquidos y vapores, tiene bonete cerrado.	El cuerpo de la válvula está aislado del fluido del proceso cuando no está descargando, disponible con fuelle equilibrado, vuelve a cerrar después de descargar.	Sólo para conexiones de cara realzada, no es adecuada en servicio de polímeros, presión máxima de entrada alrededor de 10 000 psig.	Recipientes a presión sin fuego (ASME), descarga de bombas y compresoras, calderas.
VÁLVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD CON SEMIBOQUILLA.	Para líquidos y vapores, la boquilla es un inserto roscado en la base, las conexiones pueden ser bridas, de extremo soldable o roscado.	Más barata que las de boquilla completa, disponible con cara plana para instalar en bridas de hierro fundido y con extremos soldables.	No es adecuada en servicio de polímeros, presión máxima de entrada alrededor de 1 500 psig, no las hay con fuelle equilibrado.	Recipientes a presión sin fuego (ASME), descarga de bombas y compresoras, calderas.
VÁLVULA DE ALIVIO CON BOQUILLA EN LA BASE.	Boquilla formada con la base de la válvula, conexiones roscadas, bridas o con extremos soldables, abre por completo con el 25 % de sobrepresión, tiene bonete cerrado.	Disponible en tamaños pequeños, bajo costo, vuelve a cerrar después de descargar, adecuada para materiales tóxicos.	No es adecuada en servicio de polímeros, presión máxima de entrada alrededor de 2 000 psig, no las hay con fuelle, no es adecuada para calderas.	Descarga de bombas, expansión térmica en tubos, intercambiadores de calor y calentadores de agua.

continúación ...				
VÁLVULA DE ALIVIO PARA SERVICIO CON CLORO.	Interior protegido con dos diafragmas, un diafragma aisla la válvula del líquido de proceso, y el otro no permite la salida a la atmósfera.	Se emplea en servicios muy corrosivos, el diafragma de entrada se desgasta después que se rompe el pasador de ruptura, el disco vuelve a asentarse después de descargar.	No las hay del tipo equilibrado, presión máxima de entrada alrededor de 375 psig.	Servicio con cloro y con otros productos tóxicos y corrosivos, carros-tanque y depósitos.
VÁLVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD OPERADA CON PILOTO.	Consiste en dos válvulas, la válvula piloto controla a la principal.	Puede soportar alta presión de entrada, se puede graduar para descargar cerca de la presión de operación, puede tener operación remota para descarga manual.	No es adecuada para temperaturas mayores de 350 °F, no se recomienda para líquidos sucios, pastas aguadas y polímeros.	Recipientes a presión sin fuego (ASME), en especial servicio con gas a alta presión, para compresores de gasoductos y alternativos.
DISCO DE RUPTURA.	Disco rompible sujeto entre bridas, dos tipos principales: prabombado y combadura inversa.	No hay piezas móviles que se peguen u obstruyan, adecuado para pastas aguadas, polímeros o materiales tóxicos, no hay fugas, puede manejar grandes capacidades, sirve para altas presiones, respuesta rápida, puede descargar explosiones, o detonaciones.	Sujetos a fatiga por esfuerzo, se descarga toda la presión del sistema cuando se rompe el disco y hay que parar la unidad.	Recipientes a presión sin fuego (ASME), dispositivo primario de alivio para pastas o polímeros o bien en serie con válvulas de alivio, para sustancias tóxicas se debe usar en serie con válvulas de alivio, para servicios de alta presión, explosiones internas o detonaciones.
VENTEOS EN TANQUES.	Suele ser de doble función, combinada para presión y vacío, en general son de palatas con pesos.	Se pueden calibrar para cerrar a la presión de operación, muy sensibles, se calibran en onzas por pulgada cuadrada o fracción.	Sólo para servicio de baja presión, los materiales de construcción pueden ser problema si se emplean en servicios de productos químicos.	Tanques de petróleo API RP 2 000, sirve para cualquier tanque de almacenamiento a presión atmosférica.
VÁLVULA DE ALIVIO TIPO ATMOSFÉRICO.	Dos tipos básicos: palatas con pesos y orificios múltiples.	Gran capacidad de alivio a bajo costo.	Su tipo tan especial limita su uso solo para el vapor de baja presión.	Condensadores de superficie, vapor de baja presión.

Para concluir esta sección, se mencionará la importancia del mantenimiento y la inspección de los dispositivos de seguridad para protección, en especial en el caso de las válvulas, ya que siempre hay la posibilidad que aún cuando se tengan los mejores equipos éstos fallen si no se tiene el sistema de mantenimiento adecuado, se recomienda llevar records históricos del mantenimiento, es muy importante emplear las partes de repuesto originales del fabricante de las válvulas para asegurarnos de su buen funcionamiento.

Se sugiere, primero realizar una inspección visual antes de enviar el equipo al taller, así como revisar las tomas corriente abajo y corriente arriba, después que han sido inspeccionadas se limpian y se prueban por presión y por tensión al 190 % de la presión de ajuste para detectar posibles fugas. Debe tenerse mucho cuidado en el transporte para no dañar las caras de las bridas, o mover y descalibrar la presión de ajuste.

En una inspección se deben checar como mínimo los siguientes puntos:

1. Revisar si las caras de las bridas presentan picaduras y asperezas.
2. Verificar si existe adelgazamiento de la superficie del asiento y del vástago.
3. Revisar si existe corrosión en el resorte, para corregir las condiciones de operación, de presión y de temperatura.
4. Revisar si hay fugas debido a los fuelles, rupturas o adelgazamiento de las paredes.
5. Revisión del estado de la cuerda del tornillo de ajuste y apertura del bonete.
6. Revisar la entrada y salida de la boquilla.
7. Verificar los espesores del cuerpo.
8. Revisión de los componentes y materiales de la válvula, checar contra la placa de identificación, etiqueta o carta de especificación.

Antes de reinstalar una válvula, es importante determinar la presión de "castaño", montando ésta sobre el tubo de prueba al cual se le incrementa la presión poco a poco, es recomendable hacer un registro de este procedimiento, la reinstalación de una válvula debe hacerse de acuerdo al procedimiento que marca el fabricante, antes de poner nuevamente en servicio la válvula, todos los datos deben ser registrados, estos registros se vuelven importantes para la operación futura del equipo.

Cabezal de Desfogues y Líneas Secundarias.

Una vez realizado el análisis detallado de las causas de "sobrepresión" en una unidad determinada a proteger, es posible la elección del tipo de sistema a utilizar:

- ✓ Sistema Abierto o
- ✓ Sistema Cerrado.

Estos sistemas fueron analizados y descritos en el Capítulo 2.

Por ejemplo, por seguridad las descargas de líquidos y gases inflamables en las refinerías se deben llevar a un sitio adecuado para eliminarlas, en este tipo de plantas es común el uso de sistemas cerrados para este fin.

Número de cabezales de desfogues.

En un Sistema de Desfogues, resulta obvio recolectar en la misma tubería todos aquellos gases con características similares, a las líneas individuales que conectan cada equipo en particular con la tubería general de recolección se les llama "tuberías de desfogues", y a la línea recolectora de éstas se le da el nombre de "cabezal de desfogues".

Los vapores liberados provenientes de las diferentes válvulas de relevo de presión deben ser recolectados en subcabezales localizados cerca de las áreas de proceso, posteriormente se conectan al cabezal principal de recolección, el cual manda los fluidos recolectados a un tanque separador, en donde son separados los condensados acarreados en la red del Sistema de Desfogues, de este tanque los gases son enviados hacia los quemadores, pasando antes por los tanques de sello ubicados cerca de los mismos.

Dentro de los sistemas cerrados de relevo y eliminación, existen aquellos que contienen una sola válvula, en los cuales el tubo de descarga se tiende hasta una chimenea de respiración, un quemador vertical u otro medio de descarga al cual no estén conectados otros tubos de descarga, ya sea provenientes de válvulas de relevo o de sistemas reductores de presión.

El sistema de relevo de descarga cerrada y válvulas múltiples es el que más se utiliza, pero es importante observar que en lugar de combinar todas las corrientes de descarga en un cabezal grande que dé servicio a toda la unidad de operación, puede resultar más económico en determinadas circunstancias, dividir la recolección en dos o más cabezales; por razones de seguridad y economía con frecuencia se utiliza un sistema de cabezales múltiples para el servicio de una sola unidad.

El número de cabezales principales de desfuegos, depende del tipo de vapores o gases manejados, la necesidad de un sistema de cabezales múltiples surge cuando resulta ventajoso aislar corrientes de relevo o de reducción de presión debido a:

- ✓ Presencia de materiales corrosivos.
- ✓ Diferencias importantes en la composición de los gases o vapores relevados.
- ✓ Diferencias considerables en las temperaturas de descarga.
- ✓ Diferencias considerables en las presiones de operación de los equipos protegidos, que finalmente se refleja en la limitación de contrapresiones para las válvulas de relevo.
- ✓ Separación de sistemas que manejan líquidos y vapores.
- ✓ Descarga de materiales muy viscosos, pues requieren mayor mantenimiento y la consideración de más accesorios para el mismo sistema.
- ✓ Sistemas con gases condensables: aunque se puede diseñar un sistema común para éstos y los gases no condensables si se toman las provisiones necesarias para el manejo de los líquidos que pudieran estar presentes en el sistema.

El número de cabezales de desfuegos requeridos depende de la evaluación económica del sistema, se realiza una serie de combinaciones de las diferentes situaciones que se presentarán en los casos de elevación de presión y se elige la que resulte con un costo mínimo.

Con frecuencia la instalación de sistemas de relevo separados de alta y baja presión resulta costable y económico. El nivel de presión en los cabezales de desfuegos depende del tipo de válvulas de relevo utilizadas para proteger el equipo y de los niveles de presión de operación de los equipos conectados al sistema.

El tipo de válvulas utilizadas (convencionales o balanceadas) en un sistema de recolección específico, dicta el nivel de contrapresión permitido en el sistema. En un cabezal con descargas múltiples cada válvula debe ser chequeada adecuadamente, a fin de asegurar que no se exceda el nivel de contrapresión permisible para la misma. En algunos casos la presión varía drásticamente de un recipiente de proceso a otro, entonces no siempre resulta económico combinar los sistemas en un cabezal común, por ejemplo, si las presiones en dos equipos de un mismo proceso son de 20 y 200 psig, para el sistema de baja presión la máxima presión permisible en el cabezal de desfuegos será 17 psia utilizando válvulas de tipo balanceadas, el sistema de alta presión es capaz de permitir una contrapresión de 34 psia aún utilizando válvulas convencionales, pero si estos dos tipos de válvulas son conectadas al mismo cabezal la contrapresión permitida será de 17 psia y resultará una tubería de mayor diámetro, por lo que es más económico tener dos cabezales con niveles de presión diferentes.

El siguiente procedimiento ofrece una serie de consideraciones para poder realizar estimaciones comparativas para la determinación del número de cabezales:

1. Estudio del arreglo y distribución de equipo, se debe hacer una revisión y registro de:
 - ✓ Número de válvulas de relevo en las diferentes áreas del proceso.
 - ✓ Presiones de ajuste.
 - ✓ Cargas individuales de relevo.
 - ✓ Temperaturas de los vapores relevados.
 - ✓ Naturaleza de los vapores relevados (corrosivos, ácidos, secos, etc.).
2. Dibujar un cabezal sencillo en cada área del proceso para conectar las válvulas de relevo y las de despresurización.
3. Los subcabezales son después conectados al cabezal principal, tomando en cuenta la ruta de tuberías más sencilla.
4. Se calcula la longitud equivalente desde la chimenea del quemador hasta la última válvula, tomando en cuenta la longitud recta y los accesorios.
5. Se hace un estimado del diámetro del cabezal, basado en la carga máxima relevada y considerando la limitación en la contrapresión para las válvulas de relevo.
6. Se hace un segundo cálculo de dos cabezales, uno para la recolección de corrientes de baja presión (comunmente entre 5 y 10 psig) y otro para presiones relativamente altas (entre 15 y 20 psig), los dos cabezales se conectan con sus respectivos tanques separadores, las líneas de vapor salientes de éstos se dirigen hacia los tanques de sello en los quemadores.

La máxima carga simultánea en cada cabezal debe ser calculada separadamente, y la caída de presión debe considerarse para la longitud total de la tubería, incluyendo el recorrido hacia el quemador. Los subcabezales en cada área del proceso deben seguir un procedimiento similar.
7. La consideración siguiente es la del costo de los materiales, esto determinará el número final de cabezales. Los vapores que generalmente requieren de materiales caros son listados a continuación:
 - ✓ Vapores corrosivos, ejemplo: SO_2 , H_2S .
 - ✓ Vapores a muy alta temperatura, ejemplo: gases calientes provenientes de los procesos de regeneración de catalizadores.
 - ✓ Vapores de muy baja temperatura, ejemplo: vapores generados debido a un cambio de estado en una válvula de control o de seguridad en un sistema criogénico.

De los tres casos mencionados, los vapores corrosivos usualmente se llevan en un cabezal separado, y por lo general, estas líneas son muy pequeñas, si se combinasen con otras corrientes se corre el riesgo que provoquen corrosión en tuberías de diámetros mayores y de mayor costo.

Para cabezales de alta temperatura, se sugiere un cabezal por separado hasta que la temperatura decrete a un límite permisible para un material de menor costo, después puede ser conectado al cabezal

principal, para ésto se requiere un cálculo de pérdidas de calor para poder evaluar adecuadamente el fenómeno. También se debe considerar el hecho que a temperaturas elevadas se puede requerir de juntas de expansión, por ejemplo, en plantas de gran capacidad se puede tratar de tuberías hasta de 36" ó 42", y puede ocurrir que juntas de expansión de este tamaño resulten tan caras, que tal vez sea mejor llevar una cabezal separado con corrientes de desfogues calientes.

Subcabezales que manejan vapores con muy bajas temperaturas (50 °F o menores), pueden ser similarmente conducidos en un cabezal frío de desfogues, pero debido a que la atmósfera calienta los tubos, los cálculos pueden indicar que después de cierta distancia es posible que se unan seguramente al cabezal de alta o al de baja presión dependiendo de las presiones de operación.

8. Desfogues húmedos y desfogues secos, algunas veces los vapores calientes acarrean condensados, pudiendo separarse los vapores fríos y los secos, éstos no corren como cabezales separados, pero sin embargo los cabezales de alta presión o de baja presión pueden ser asociados con algunos de ellos, así el cabezal húmedo puede ser, de hecho el de baja presión, y el seco el de alta o viceversa.
9. Después que el número total de cabezales ha sido definido, debe ser revisada nuevamente la carga de vapor en cada cabezal individual, ya que la introducción de cabezales separados puede permitir una disminución en la cantidad de flujo en un determinado cabezal en el cual fué considerado inicialmente.

Dois ejemplos típicos con separación de cabezales de desfogues son:

Una Planta de Etileno, por lo general presenta los siguientes cabezales:

- ✓ Desfogue de baja presión húmedo, contiene gases calientes y agua.
- ✓ Desfogue de alta presión seco, contiene gases fríos exentos de agua.
- ✓ Desfogue líquido, contiene vapores de baja temperatura después del cambio de fase a través de las válvulas.

Un típico de Plantas de Gasificación contiene los siguientes cabezales:

- ✓ Desfogue de alta presión seco.
- ✓ Desfogue de alta presión húmedo
- ✓ Desfogue de H₂S, contiene vapores con más del 5 % en volumen de H₂S.

Dimensionamiento de los cabezales de desfogues.

Existen diferentes puntos que se deben tomar en cuenta para hacer el dimensionamiento de las tuberías de desfogues.

La operación simultánea de muchas válvulas de relevo, debido a la misma contingencia y descargando en un cabezal común de un sistema cerrado, puede producir situaciones críticas para mantener la contrapresión permisible generada más baja para varias válvulas de relevo, por lo que existe un riesgo de daño mecánico para el equipo protegido, se debe prevenir tal condición pero sin tener un sobredimensionamiento del cabezal y del sistema cerrado de desfogues.

Antes de diseñar las secciones de transferencia y eliminación de un Sistema de Desfogues, se debe contar con los resultados del análisis detallado de todas las posibles situaciones de relevo por "sobrepresión", una vez definidas las cargas que pueden verse involucradas y contando con los tamaños

preliminares de las válvulas de relevo, se puede realizar un isométrico preliminar, basado en un arreglo determinado para el sistema de protección, incluyendo líneas y equipos auxiliares, esto con el fin de hacer un dimensionamiento aproximado del cabezal principal; con esta información se inicia un estudio de optimización del Sistema de Desfogues, incluyendo por supuesto, el encontrar un tamaño óptimo para el cabezal.

El criterio básico para diseñar el tamaño de las tuberías de descarga de las válvulas de relevo, así como el diseño del cabezal de desfuegos, se basa en la determinación de la contrapresión que puede existir o desarrollarse en el sistema, y que sea tal que no reduzca la capacidad de las válvulas requerida para proteger al recipiente correspondiente. Cuando se usan válvulas convencionales el cabezal de relevo deberá diseñarse para una contrapresión del 10 % de la presión de ajuste de la válvula con menor presión de calibración, para válvulas balanceadas se puede utilizar una contrapresión más elevada, ya que como se mencionó, éstas operan casi independientemente de la presión en contra, es decir, hasta en un 50 % de la presión de calibración, pero es recomendable para diseño limitar la contrapresión a un máximo de 30 %.

Existen varios métodos para dimensionar las líneas de desfuegos cuando las condiciones de flujo son conocidas, el problema es básicamente calcular la caída de presión para el flujo de un fluido compresible en una línea, a fin de determinar la presión inicial cuando la presión de salida es conocida, la presión de salida en un sistema de relevo es esencialmente la atmosférica, esto es, que los cálculos de caída de presión deben hacerse en "retroceso", desde la boquilla del quemador o "tip" hasta cada una de las líneas de relevo, el cabezal debe ser diseñado de tal modo que la contrapresión acumulada en el mismo sea menor que la más baja contrapresión permisible para determinada válvula individual.

CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA DETERMINAR LOS TAMAÑOS DE LAS TUBERÍAS DEL CABEZAL PRINCIPAL Y DE LAS LÍNEAS SECUNDARIAS DE DESCARGA:

- Capacidad máxima requerida para la descarga de vapores.
- Contrapresión máxima permisible en los cabezales.
- Tipo de válvulas de relevo de seguridad que se utilizarán en el sistema.
- Códigos aplicables.
- Principios y bases de diseño requeridos.

Después de establecer claramente estos conceptos, la determinación del tamaño de las tuberías consiste en un simple cálculo de flujo de fluidos.

Es posible calcular la distribución de presiones cuando se conocen los flujos y las longitudes de las tuberías de relevo, los flujos son especificados para el caso de relevo seleccionado, se deben probar varias combinaciones de diámetros de tubería.

El método de dimensionamiento ocupa una técnica iterativa para optimizar, éste inicia con un juego de diámetros sobrediseñados que no podrían causar una contrapresión que exceda el límite especificado en cualquier válvula de relevo, las tuberías son reducidas individualmente y se calcula la nueva distribución de presión, después se comparan la nuevas contrapresiones para cada válvula de relevo, si no se excede algún parámetro, se intentan nuevos tamaños y se repiten los cálculos.

La capacidad máxima requerida para descarga de vapores, está basada en la válvula o grupo de éstas que se puedan necesitar en forma simultánea para descargar la máxima cantidad de vapores que se llegan a producir en una situación anormal del proceso o de emergencia.

No se debe olvidar que el dimensionamiento de las tuberías de desfogues también se basa en el diseño por limitación en la velocidad sónica del gas.

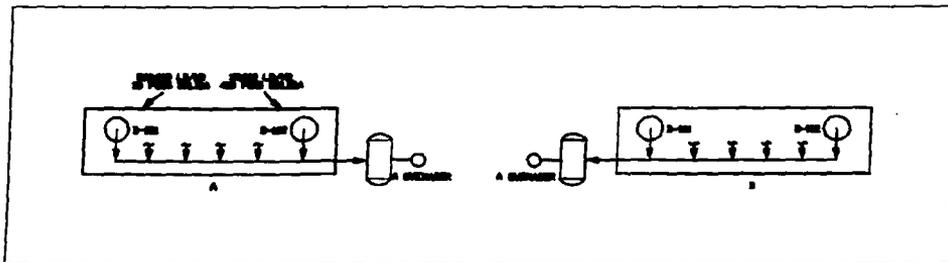
Debido a que en estos sistemas una falla es intolerable, el diseño debe ser *simple y confiable* para obtener un sistema seguro.

Existen al menos cuatro buenas razones del porque el diseño de las tuberías para las válvulas de alivio de presión debe ser efectuado con cuidado:

1. La tubería de entrada y salida a la válvula de relevo puede reducir la capacidad de la misma.
2. La operación de la válvula puede ser afectada, los puntos de ajuste de presión para abrir o cerrar se pueden alterar, y con ésto se pueden presentar fugas prematuras.
3. Las fuerzas de reacción cuando empieza a descargar la válvula pueden causar fallas mecánicas en la tubería.
4. Un buen diseño ahorra capital en la inversión.

En el dimensionamiento del cabezal de desfogues, el objetivo principal es usar la presión diferencial disponible (permisible) entre las salidas de las válvulas de relevo y el quemador de la mejor forma económica posible. Sólo como referencia, el costo del Sistema de Desfogues es aproximadamente el 2 ó 3 % del costo total de una refinería.

La obtención de los costos mínimos para la red de desfogues tiene mucho que ver con la localización del quemador para el servicio de la planta. Por ejemplo, en la fig. 3.18 se puede apreciar este efecto, el arreglo A resulta 40 % más caro que el arreglo presentado en el dibujo B, la distancia entre el punto de más baja presión y el quemador por lo general tiene un efecto importante en el tamaño del cabezal.



Efecto del arreglo de equipo en los costos de un Sistema de Desfogues.
fig. 3.18

FACTORES QUE AFECTAN EL ARREGLO DE EQUIPO EN UN SISTEMA DE DESFOGUES:

- **Análisis de cargas.**
- **Espacio disponible.**
- **Modulación de equipo.**
- **Simplicidad de componentes.**
- **Costos.**
- **Facilidades de operación.**
- **Mantenimiento.**

Dentro del establecimiento de criterios para el diseño, se *debiera* considerar la magnitud del efecto de una falla de potencia o de agua de enfriamiento, ya que la pérdida del medio de enfriamiento (agua o aire) es por lo general, la condición que produce la mayor cantidad de material que se releva para evitar el exceso de presión, estas magnitudes se *debieran* tomar en cuenta en base a la experiencia y a la duración de la emergencia, también se *debieran* considerar los sistemas de control y de instrumentación automática, pero los requerimientos de un sistema de relevo en cuanto al crédito de duración de la emergencia o de los lapsos de ésta, de los controles automáticos y / o de la acción del operador, aún no han sido establecidos y considerados por el código API o por alguna otra asociación.

Sería deseable un método de cálculo de lapsos para el cambio de éstos de una operación estable a una de relevo, la práctica usual asume que la acción del operador será correcta en alguna condición de relevo que requiera más de 30 minutos.

Conforme se incrementa el tamaño y complejidad del Sistema de Desfogues implica un esfuerzo adicional en el desarrollo de la ingeniería para obtener un diseño económico.

En seguida se hará una breve mención sobre un aspecto muy importante a considerar en el diseño del Sistema de Desfogues: el diseño mecánico.

La tubería para el sistema de transferencia y eliminación en los sistemas de relevo de presión, necesita tanto cuidado como en el caso de las tuberías de los fluidos de proceso, aunque en realidad el diseño de la tubería de descarga de las válvulas de relevo suele ser más complejo que el de la tubería de proceso en sí, esto es debido a que la tubería de relevo está sujeta a una amplia gama de temperaturas, presiones y choques térmicos, además del problema de corrosividad.

Las deformaciones térmicas ocasionadas por la entrada de fluidos calientes o fríos, generan los principales esfuerzos en la tubería, por lo general, se puede prever la expansión a fin de mantener grados permisibles de deformación en toda la gama de temperaturas de relevo, para ello se utilizan juntas de expansión, o bien determinadas configuraciones especiales de tubería.

Es muy importante tener en cuenta los esfuerzos en la tubería de acero al carbón, si es que ésta se enfría a menor temperatura que la de transición, esto puede ocurrir por la entrada de fluidos fríos o por autorrefrigeración cuando los líquidos de alto punto de ebullición sufren una reducción de presión.

Las especificaciones de materiales, esfuerzos permisibles, y requisitos de las pruebas de impacto para los tubos de acero al carbón aparecen en el código ANSI B-31.3, publicado por ASME.

Como precaución adicional, se ha encontrado que el relevado de esfuerzos en sistemas de tuberías soldadas es ventajoso para reducir la posibilidad de fracturas por la fragilización del acero al carbón.

Es muy posible que las válvulas de relevo de seguridad estén sometidas a esfuerzos térmicos y mecánicos, lo cual se debe tener en cuenta al diseñar la tubería de descarga, estos esfuerzos pueden ocasionar un mal funcionamiento o fugas en las válvulas.

Los anclajes y soportes adecuados, así como la flexibilidad de la tubería de descarga son importantes para evitar esfuerzos en las válvulas ocasionados por la tubería. Las fuerzas de reacción que se producen cuando descarga una válvula también pueden causar esfuerzos en la tubería de eliminación.

Las cargas de choque o "golpes de ariete" también se deben tener en cuenta como posibles causantes de esfuerzos en la tubería de relevo, dos causas de estas cargas son:

- ✓ El impacto de las masas de líquido en el punto en donde se invierte o cambia de sentido la circulación de los fluidos.
- ✓ La descarga súbita de un fluido compresible a un sistema de tubería multidireccional.

Equipo Auxiliar del Sistema de Desfogues.

En el diseño de un Sistema de Desfogues dos puntos importantes se deben conseguir para que su operación pueda ofrecer *seguridad y confiabilidad*:

- ✓ Evitar que los líquidos acarreos en la corriente de gas puedan ser arrojados por el quemador como gotas encendidas.
- ✓ Recuperar la mayor parte de los líquidos arrastrados o condensados que tienen gran valor económico.

Forman parte del Sistema de Desfogues instalaciones tales como: tanques separadores, tanques de sello, quemadores, etc., la función de éstos es tratar, quemar o eliminar de alguna u otra manera en forma segura y sin riesgos los fluidos provenientes de la red de tuberías del sistema.

Debe recordarse que es necesario tomar providencias para evitar la acumulación de líquidos en algún lugar de la red de tuberías, entre estas medidas se encuentra la pendiente que deben tener tanto las tuberías de descarga como el cabezal principal; sin olvidar que no se permiten tramos ascendentes de tubería ni "columpios", pero cuando éstos no sean posibles de evitar por razones de arreglo de equipo, se deben colocar en la parte baja drenajes hacia piernas colectoras.

Dentro de los sistemas de transferencia y eliminación para tratar los fluidos de desecho se encuentran los siguientes:

- ✓ Los que descargan fluidos calientes a un cabezal independiente y que son llevados a cajas enfriadoras.
- ✓ Sistemas de tratamiento especial para desfogues corrosivos o tóxicos antes de integrarse a un cabezal general, esto es, tomar como medida de seguridad la neutralización química de vapores tóxicos, aunque también se puede utilizar la combustión para convertir estas sustancias en otras menos tóxicas.

- ✓ **Sistemas que manejan mezclas en las que predominan vapores condensables y líquidos, éstos a través de un sistema cerrado se envían a lavadores con agua para eliminar la fracción condensable, los vapores no condensables que salen del lavador se descargan en una forma práctica y sin producir daños, por ejemplo, a la atmósfera por una chimenea o para mayor seguridad hacia un quemador de un sistema cerrado.**

Para satisfacer la gran variedad de posibles condiciones, cada instalación tiene requisitos individuales específicos en su diseño, por ejemplo, se puede requerir aspersión de agua para el control de la temperatura de vapores calientes, o bien, puede ser necesario calentar los hidrocarburos ligeros para contrarrestar el efecto de refrigeración producto de la vaporización, o en climas muy fríos se puede necesitar protección contra el congelamiento del agua o la solidificación de los hidrocarburos pesados.

La selección del método de eliminación se basa también en la disponibilidad de espacio, en las condiciones locales, y en la economía.

A continuación se da una breve descripción sobre los componentes típicos de un Sistema de Desfogues, y además algunas consideraciones para efectuar un diseño adecuado.

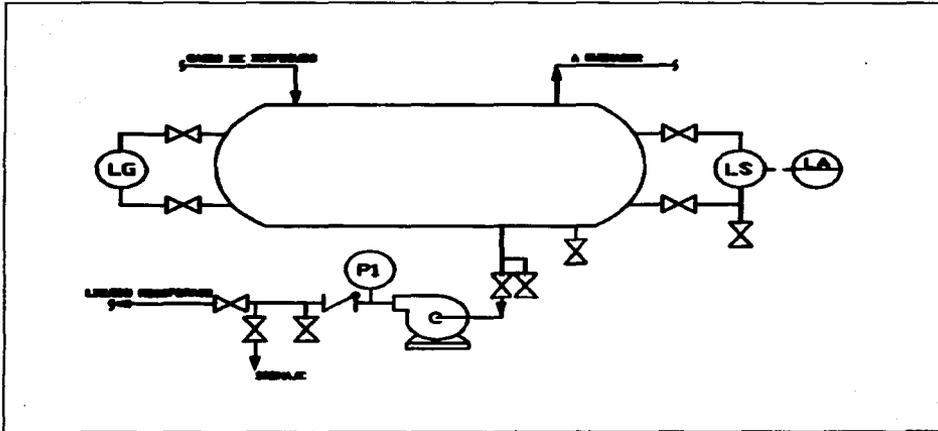
Tanque separador (knock-out).

Se debe proveer un tanque separador junto a cada unidad o grupo de unidades de proceso protegidas, si es que existe la posibilidad de descargar líquidos hacia los quemadores. También se recomienda tener instalaciones para la transferencia del líquido acumulado, a través de un enfriador si fuese necesario, hacia un equipo para almacenamiento de desechos, o hacia otro medio de eliminación. Se recomienda que el equipo para "vaciado" esté formado por dos bombas con motor eléctrico, las cuales se instalan para operar en paralelo, deben contar con sistemas de control e instrumentación de tal forma que las dos paren por bajo nivel, además de que ambas arranquen por alto nivel con calibración escalonada, el tanque separador debe contar con vidrio de nivel, control de nivel, alarma sonora y remota hacia algún lugar en donde exista personal de operación, en la fig. 3.19 se muestra un arreglo típico para este tipo de equipo.

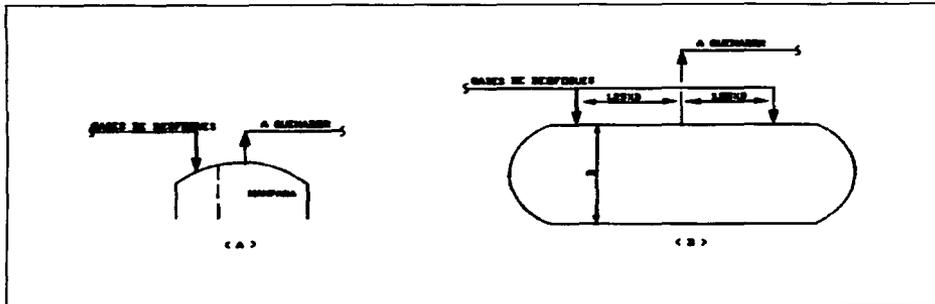
Los gases relevados son enviados hacia el tanque separador horizontal o vertical a través del cabezal principal de desfogues, si se acarreó algo de líquido con los gases aquí es separado, se debe mantener un nivel de líquido constante, en este tanque se puede utilizar vapor para prevenir congelamiento o escarchamiento, el gas proveniente de este tanque es enviado hacia el quemador, pasando previamente por unos tanques que hacen la función de sellos.

Los tanques separadores están disponibles en variedad de configuraciones y arreglos:

1. Tanque horizontal con entrada de vapor en el final del mismo, y la salida por lo alto en el lado opuesto, sin mamparas internas, como el que se muestra en la fig. 3.19.
2. Tanque horizontal con entradas en los extremos en el eje horizontal, y la salida es por el centro del tanque, fig. 3.20 B.
3. Tanque horizontal con la entrada de vapor por el centro, y la salida por los extremos en posición del eje horizontal.
4. Tanque vertical con la entrada de vapor en lo alto, provisto de una mampara de forma tal que el flujo sea directamente enviado hacia abajo, la boquilla de salida está localizada en lo alto del eje vertical, ver fig. 3.20 A.
5. Tanque vertical con boquilla tangencial.



Arreglo típico para un tanque separador.
fig. 3.19



Diferentes configuraciones de tanques separadores.
fig. 3.20

La selección del arreglo del tanque depende de la economía, cuando es requerida gran capacidad de líquido almacenado y el flujo de vapor es grande, normalmente el tanque horizontal es el más económico y adecuado.

Las entradas o salidas divididas reducen el tamaño del tanque cuando se manejan grandes flujos, como regla de experiencia se tiene que cuando el diámetro excede 12 ft. el arreglo de flujo dividido es el más costeable.

El tamaño de los tanques separadores, también conocidos como tambores de expulsión, se suele determinar por medio de métodos de prueba y error, el tanque debe tener el diámetro suficiente para efectuar la separación líquido-vapor deseada.

Para el dimensionamiento, se debe tener en cuenta el tiempo de residencia del gas o del vapor en el recipiente, pues las partículas del líquido se separan cuando este tiempo es igual o mayor al requerido para recorrer la distancia vertical disponible a la velocidad de separación de las partículas líquidas, además, la velocidad del gas debe ser lo suficientemente baja para permitir que se separen las partículas líquidas con diámetro de 150 mic o mayor, ya que partículas de tamaños menores pueden ser manejadas por el quemador sin representar ningún peligro. El segundo paso para calcular el tamaño de estos tanques es la consideración del tiempo de residencia del líquido almacenado, los tiempos recomendados van de 10 a 30 min.

El diseño de un tanque separador, puede hacerse de acuerdo al método descrito en el código API RP 521.

Tanques de sello.

La práctica estándar y común en las plantas químicas, es la de proveer un sello en la base del quemador para prevenir el retroceso de la flama, en ausencia del sello en ocasiones una cantidad continua de gas puede ser inyectada hacia el quemador para mantener un flujo positivo.

TIPOS PRINCIPALES DE SELLOS:

- Sellos líquidos.
- Sellos de gas.

Sellos líquidos.

Ambos tipos son ampliamente usados, los sellos líquidos son generalmente tanques de sello o tuberías de sello, el tanque de sello líquido es localizado entre el tanque separador y la chimenea del quemador, algunas veces, en lugar de un tanque es suficiente con una tubería de sello que se utiliza como pierna de sello, y es localizada en el fondo de la chimenea del quemador, a menudo, éste es parte integral de la chimenea.

Los tanques de sello pueden ser verticales u horizontales, la selección del tipo depende principalmente de la disponibilidad de espacio.

El propósito del tanque de sello es el de mantener algunas pulgadas de sello en la entrada del cabezal de desfogues, no debe exceder 6 in. de otro modo éste causará una contrapresión en el tanque separador.

En la fig. 3.21 se muestra un arreglo típico para un tanque de sello horizontal y uno para un tanque vertical.

El diseño del tanque de sello debe estar de acuerdo con el código API RP 521.

Como líquido de sello se utiliza normalmente agua, siempre se mantiene un flujo continuo de agua con un derrame de ésta hacia el drenaje, al circular el agua dentro del tanque arrastrará el aceite y demás materiales atrapados, el flujo recomendable es 0.5 gpm. Si las instalaciones están en climas fríos, el agua podrá calentarse por medio de un calentador sumergido que utilice vapor, o ésta puede ser reemplazada por otro líquido tal como alcohol, kerosina, etc., éstos no requieren de un flujo continuo.

El empleo de tanques de agua ofrece múltiples ventajas que justifican su instalación, con un diseño adecuado proporcionan una seguridad completa al sistema.

La capacidad de un tanque de sello usualmente corresponde a un volumen de 8 a 10 ft de la línea de entrada del vapor.

En un tanque vertical, la relación del área transversal de la tubería de entrada a el área libre en el recipiente para el flujo de gas arriba del líquido, debe ser al menos de 1 a 3, esto es para prevenir borbotones en el flujo del gas al quemador, la altura del espacio vapor arriba del nivel del líquido deberá ser aproximadamente de 2 a 3 veces el diámetro, y así proveer un espacio de separación para el líquido de sello que entra.

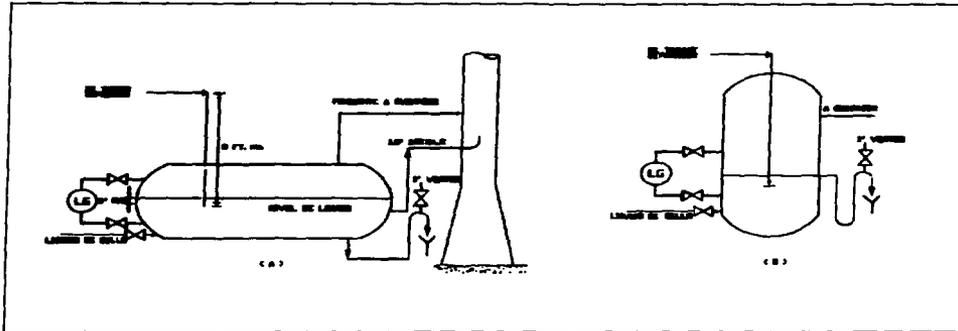
En el cálculo del tanque de sello, como primer paso se requiere determinar la contrapresión máxima permisible en el cabezal de respiración, éste a su vez establece la distancia máxima en que se sumerge el tubo de entrada.

Para un tanque de sello horizontal, es recomendada una distancia mínima de 3 ft entre el nivel del líquido y la parte alta del tanque.

A continuación se mencionan algunas consideraciones que deben hacerse para el diseño e instalación de los tanques de sello:

- ✓ Tanto los tanques de sello como los separadores, no deben estar aislados más que para protección del personal.
- ✓ Es recomendable usar placas perforadas o algo similar, con el objeto de que las pulsaciones del gas al formar olas no arrastren líquido al quemador.
- ✓ La localización de los recipientes deberá darse de acuerdo al estudio de radiación resultante a la carga máxima del quemador, para un valor de 3 000 BTU / hr ft².
- ✓ Debe instalarse una columna de agua en el exterior del tanque, con el objeto de mantener automáticamente el nivel del sello de agua, un equivalente sería una válvula automática de control de nivel del tanque.
- ✓ La mayoría de los tanques de sello trabajan a presiones muy bajas, sin embargo deben ser diseñados a presiones de 50 psig como mínimo.

- ✓ El fuerte burbujeo del gas a través de la tubería sumergida, puede verse disminuido haciendo numerosos cortes en "V" alrededor de la boca del tubo.
- ✓ Para el diseño de las boquillas, soportes o internos, debe tomarse en cuenta el choque por cargas resultantes de los efectos térmicos o de la expansión del gas.
- ✓ Deben darse facilidades para el acceso y mantenimiento a estos equipos.
- ✓ Deben utilizarse válvulas del tipo "ON-OFF" para evitar la ruptura del sello.
- ✓ A los tanques de sello, se deben enviar solamente las corrientes de gas con temperaturas por arriba de la de congelación del agua para evitar así taponamientos.



Arreglos típicos para tanques de sello.
fig. 3.21

Sellos de agua adicionales.

A fin de proporcionar una máxima seguridad al Sistema de Desfogues, es conveniente localizar un sello de agua adicional lo más cercano posible al quemador de emergencia, esto puede conseguirse de dos formas:

1. Haciendo en la línea de desfogue una curva en forma de "U", y proporcionando un nivel constante de agua, este tipo de sello tiene una gran efectividad durante el retroceso de flama, sin embargo se pueden experimentar pulsaciones del gas hacia el quemador bajo condiciones de muy bajo flujo, o también, con grandes cantidades de gas relevado el agua puede ser expulsada hacia la chimenea del quemador.

Este tipo de sello adicional es conocido como "tubería de sello", la cual también puede ser utilizada individualmente. Las "tuberías de sello" localizadas en la base de la chimenea son más baratas que los tanques.

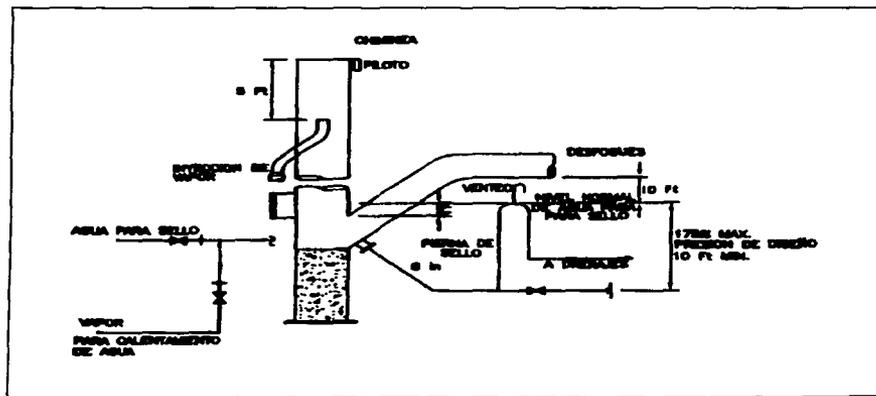
Las "tuberías de sello" son las más sencillas y adecuadas cuando la condensación con acumulación de hidrocarburos en el sello no constituye un problema. de lo contrario se necesita un tubo de sello más complejo, el cual incluya un sistema continuo para desnatar y eliminar los hidrocarburos condensados.

2. Localizando un pequeño tambor con agua de sello inmediatamente detrás de la fosa de quemado, este tipo de sello permite escalonar el flujo de quemado a diferentes presiones logrando utilizar las boquillas por etapas de quemado, es decir, según la naturaleza misma del sistema.

El uso de dos o más sellos permite utilizar con gran versatilidad el equipo de quemado, es decir, permite la operación del equipo escalonándolo para diversos rangos de presión a medida que se incrementa el flujo de desfogue.

Algunas recomendaciones para el dimensionamiento de las piernas de sello son:

- ✓ La pendiente en la línea de entrada se utiliza para tener un volúmen de agua abajo del nivel normal del agua de sello equivalente a un volúmen de 10 ft de la tubería de entrada.
- ✓ La altura del agua de sello no debe exceder 12 in para prevenir las pulsaciones de gas.
- ✓ El nivel de agua de sello es mantenido por un flujo continuo de agua de aproximadamente 20 gpm.
- ✓ Un derrame normal es tomado del fondo del sello (sellos sencillos) a través de la pierna de sello. la altura de la pierna de sello debe ser equivalente a 175 % de la presión en la base de la chimenea durante el máximo relevo de vapores, de modo tal que el retroceso de gas en la base del quemador es prevenido, en la fig. 3.22 se muestra un arreglo simplificado de la pierna de sello.



Arreglo para una pierna de sello.
fig. 3.22

Sellos de gas.

El retroceso de la flama se produce al crearse una mezcla explosiva dentro de la boquilla del quemador debido al efecto del viento, y puede producir condiciones muy peligrosas en dicho quemador.

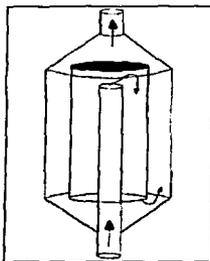
Entre otros métodos para resolver el problema del retroceso de flama, está el sello que crea una purga continua de gas al quemador, a una velocidad que va de 1 a 3 ft / seg. pero debido al aumento en el costo de los energéticos, un sistema de purga sin un sello suplementario no es económico y raramente es utilizado en la actualidad.

Un tipo reciente de sello de gas, es un dispositivo que también previene el retroceso de flama y las explosiones en el sistema, este sello es conocido como "molecular", y utiliza un gas de purga de peso molecular igual a 28 o menor, por ejemplo: N_2 , CH_4 o gas natural, debido a la presión hacia arriba del gas de purga, éste crea una zona que tiene una presión mayor que la presión atmosférica, por lo que el aire ambiente no puede entrar a la chimenea debido a que está a mayor presión, la velocidad recomendada del gas de purga a través del "sello molecular" es aproximadamente de 0.1 ft / seg. estos sellos se localizan en lo alto de la chimenea del quemador, inmediatamente antes de las boquillas de quemado.

Este tipo de sello utiliza una doble curvatura tipo "U" invertida una hacia otra, para así prevenir el paso de flujo de aire hacia el interior del quemador.

En la fig. 3.23 se muestra un tipo de "sello molecular", a pesar de su gran efectividad este sello tiene algunas desventajas como son:

- ✓ Es muy pesado y grande debido a la complejidad de su pasajes.
- ✓ Requiere de una estructura más fuerte y costosa.
- ✓ Su eficiencia se ve reducida si sus pasajes se llenan parcialmente de agua, y aunque se pueda drenar completamente, remover el refractario requiere de un alto costo de mantenimiento.
- ✓ Los sellos de este tipo pueden ser destruidos por alta velocidad en el sistema, y no deben ser usados con velocidades mayores de 200 ft / seg.



Sello "molecular".
fig. 3.23

Otro tipo de sello disponible, es el llamado "sello interno", actualmente muchos fabricantes ofrecen este tipo de sello estacionario, éstos consisten en una serie de mamparas orientadas de tal manera que la corriente que pueda entrar en la boquilla regrese por las paredes de la misma, la mampara origina que el gas salga por el centro de la boquilla creando un flujo positivo hacia la salida. El efecto puede ser reforzado por el empleo de un gas de ayuda o de purga, el flujo de éste gas depende de su peso molecular, del diseño del sello, y del diámetro del quemador; este flujo deberá ser indicado por el fabricante del sello. Este tipo de sello tiene ventajas sobre otros debido a su menor costo y menor ligereza en la construcción.

Otro tipo de protección en contra del retroceso de flama, consiste en una serie de rejillas sobrepuestas a fin de extinguir cualquier fuego que quiera pasar por ellas, este sistema se conoce como "arrestador de flama". En algunos casos cuando no se tienen sellos hidráulicos, se pueden utilizar dos arrestadores de flama en paralelo, con la facilidad de sacar uno u otro de operación para el mantenimiento de los mismos. La caída de presión a través de ellos es la misma que la de los sellos hidráulicos, su aplicación es limitada y se recomiendan solamente con vapores no corrosivos, secos y libres de cualquier líquido que pudiera causar congelamiento.

Quemadores.

TIPOS BÁSICOS DE QUEMADORES:

- Quemadores elevados, la reacción de combustión se lleva a cabo en lo alto del tubo o chimenea, en donde se encuentra preplamente el quemador y el ignitor.
- Quemadores de fosa, similarmente equipado como el anterior, pero la combustión se realiza cerca del nivel de piso.

Para la selección de uno u otro tipo, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Los vapores y gases inflamables no tóxicos, se enviarán de preferencia a quemadores sin humo de tipo fosa, en el caso que se pudieran enviar a la atmósfera, será a través de un sistema de dilución con vapor u otro gas inerte.
- ✓ Los gases tóxicos inflamables, pueden ser enviados directamente al quemador cuando sus productos de combustión no sean tóxicos, o bien si lo son, deberán estar en todo momento en concentraciones inferiores a las nocivas, en caso contrario los desfuegos pasarán antes por un sistema de neutralización, absorción, o cualquier otro necesario para mantener las concentraciones en la atmósfera a niveles permisibles. Se deberá cumplir con los mismos requerimientos para los líquidos tóxicos inflamables que van a la línea de desfuegos.
- ✓ Es muy importante observar que para el caso de desfuegos líquidos inflamables en grandes volúmenes, se debe evitar enviarlos a los quemadores, para tal efecto se contará con tanques de "vaciado" para que cubran esta contingencia.

La selección del tipo de quemador y los factores de diseño especiales requeridos, estarán influenciados por la disponibilidad de espacio, las características del gas quemado, la economía que incluye tanto la inversión inicial como los costos de operación y mantenimiento, y también por lo concerniente a las relaciones públicas con la comunidad asentada en esa área.

Las descargas a la atmósfera de los gases producto de la combustión, deberán cumplir con las disposiciones fijadas por los códigos y reglamentos de protección ambiental.

Quemadores elevados.

El uso de quemadores elevados queda reservado para los gases tóxicos inflamables, por ejemplo, el H_2S , es decir manejan gases altamente peligrosos y de efecto dañino a la comunidad.

La chimenea típica de un quemador elevado está formada de una sección elevadora, de un sello molecular y de la boquilla de quemado ("burner tip"). Los accesorios en la boquilla del quemador incluyen 3 ó 4 pilotos de gas, un número similar de pilotos que mezclan gas-aire, y boquillas para inyección de vapor, los quemadores piloto son automáticamente encendidos desde un lugar remoto a través de la línea ignitora, la conexión para vapor existe para los quemadores sin humo, también una conexión de gas de purga es provista para mantener el sistema libre de aire.

Como se mencionó, el quemador propiamente dicho es colocado en lo alto de la chimenea, la sección superior tiene aproximadamente 12 ft de largo y es llamada "flare burner tip". El diámetro del quemador es dimensionado en base a la velocidad, sin embargo debe verificarse la caída de presión a través de éste. Se ha demostrado que la flama se apaga cuando la velocidad de los vapores excede del 20 al 30 % de la velocidad sónica, por tanto, una buena práctica para el diseño está basada en considerar el 20 % de la velocidad sónica como velocidad de salida.

La altura de la chimenea depende de las siguientes consideraciones:

- ✓ Calor liberado debido al quemado del gas.
- ✓ Características y longitud de la flama.
- ✓ Emisividad de la flama.
- ✓ Intensidad de la radiación.
- ✓ Concentración a nivel de piso de los gases tóxicos en la corriente de quemado para el caso de que la flama se apague.

La localización de la chimenea es una cuestión de seguridad, por lo general, se localiza lejos de las zonas de operación y tráfico, pero de no ser posible esto, debido a la gran altura de los quemadores elevados pueden ser localizados dentro de las áreas de proceso, ya que los efectos de la radiación y la concentración de los contaminantes a nivel de piso pueden ser mantenidos dentro de los límites permitidos.

Existen tres tipos de quemadores elevados que son los más usuales, la economía y los costos comparativos de éstos, el tipo de estructura y soporte de la chimenea es lo que define su selección:

1. Quemadores tipo torre. Ideales para la instalación dentro de los confines de la planta, en donde se requiere altura para disminuir la radiación y en donde las distancias disponibles respecto a otros equipos están limitadas. El costo respecto a los otros es mucho mayor, su elección se basa principalmente en el volumen manejado de gas.
2. Quemador cableado. Se utiliza para alturas hasta de 55 ft necesarias en quemadores de gran diámetro. Este tipo de quemador necesita de un gran espacio, ya que las anclas de los cables forman un círculo cuyo diámetro es muy similar a la altura del quemador.

3. Quemador autoportado. Es el más económico para alturas de 22 ft o menores, es más fácil su erección y ocupa menos espacio en su instalación.

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LOS TRES TIPOS DE QUEMADORES ELEVADOS.			
<u>COSTO DE EQUIPO</u>	HASTA 150 FT.	DE 150 A 200 FT.	MÁS DE 200 FT.
MÁS ECONÓMICO	TORRE AUTOSOPORTADO	TORRE CABLEADO	CABLEADO
MENOS ECONÓMICO	CABLEADO	AUTOSOPORTADO	AUTOSOPORTADO
<u>COSTO DE INSTALACIÓN</u>			
MÁS ECONÓMICO	AUTOSOPORTADO	TORRE AUTOSOPORTADO	CABLEADO
MENOS ECONÓMICO	CABLEADO TORRE	CABLEADO	TORRE AUTOSOPORTADO

El dimensionamiento de un quemador elevado implica la determinación de la altura y el diámetro requerido. Los factores que deberán tomarse en cuenta en el diseño de un quemador elevado son:

- ✓ Dimensionamiento y revisión de la caída de presión.
- ✓ Cálculo de la altura por radiación, toxicidad, y por nivel de ruido.
- ✓ Acarreo de líquido.
- ✓ Efecto del viento.
- ✓ Localización.

Algunos de los problemas de los quemadores elevados son: costos iniciales y de operación altos, mantenimiento difícil y tedioso, y la desventaja más significativa es la visibilidad de la flama, pues en ocasiones se provocan objeciones por parte de la comunidad, éste es un factor determinante para su elección. Estos sistemas también requieren más vapor para producir un quemado sin humo, y además tienen la desventaja que los niveles de ruido que presentan en su operación son generalmente altos.

Quemadores de fosa.

El diseño de un quemador de fosa es similar al de uno elevado, y requiere esencialmente de los mismos sistemas auxiliares.

Un quemador de fosa se justifica plenamente al tener que manejar gases de desecho en áreas cercanas a una comunidad, ya que pueden ser reducidos a un nivel aceptable problemas tales como:

- ✓ Luminosidad excesiva.
- ✓ Radiación térmica.

✓ **Producción de humo.**

La combinación de diseños, ofrece una gran versatilidad en el uso del equipo y la completa seguridad en las necesidades de una planta, por ejemplo, en un quemador de fosa sin humo se puede manejar un volumen de gas considerado como rango normal de relevo, y en un quemador de fosa con humo se manejan grandes cantidades de gas emitidos en una situación de emergencia.

El criterio para la selección de estas unidades debe considerar:

- ✓ Que el humo producido durante una emergencia no viole las normas locales ordinarias.
- ✓ Que la operación sin humo no cause ruido que llegue a molestar a la comunidad cercana.
- ✓ La luminosidad en los quemadores sin humo no es un verdadero problema, por lo que pueden ocupar un lugar prominente dentro del área de una planta y recibir el mantenimiento adecuado.

Existen tres tipos de quemadores de fosa de uso general:

1. El que utiliza agua espreada para dispersar los gases de combustión.
2. El tipo venturi, que depende de la energía cinética disponible en los gases de desecho para mezclarse con la cantidad adecuada de aire, este tipo es considerado casi obsoleto debido a los altos niveles de ruido.
3. El tipo "multi-jet", en el que el flujo de gas de desecho es distribuido a través de muchos pequeños quemadores, tiene un alto costo inicial y su capacidad es limitada.

Las principales ventajas de un quemador de fosa son las siguientes:

- ✓ No requiere de soportes estructurales.
- ✓ La erección es relativamente sencilla, requiriéndose sólo partes ligeras.
- ✓ Fácil mantenimiento y a un costo mínimo.
- ✓ La flama del quemador no es visible, ya que se encuentra en una "caja", éste requiere de menos vapor para provocar un quemado sin humo, produce una flama relativamente no luminosa debido a una combustión más controlada en el quemador múltiple.
- ✓ Finalmente, a excepción del tipo venturi, es un sistema bastante silencioso.

Una desventaja de este tipo de quemadores es que deben estar perfectamente aislados del resto de la planta y de las líneas, requieren de un espacio considerable, dependiendo del calor liberado requieren una área libre alrededor que va de 250 ft hasta 500 ft lineales; otras desventajas son: requieren grandes cantidades de tubería de interconexión, las concentraciones de gases tóxicos son relativamente altas debido a que la combustión es a nivel de piso, los quemadores que utilizan agua espreada son por lo general evitados debido al alto consumo de la misma, y debido también a la posibilidad de extinción de los quemadores piloto, y a el potencial daño a la instrumentación por causa del agua.

Existen situaciones en las que los quemadores de campo o de fosa son utilizados en conjunto con un quemador convencional o elevado. El quemador de campo está diseñado para manejar los requerimientos normales de quemado, en el caso de una falla que requiera una mayor capacidad, el exceso de flujo es automáticamente enviado a través de un sello hacia un segundo quemador.

En general, los quemadores elevados son los más comúnmente usados y recomendados a pesar de las múltiples ventajas de los quemadores de fosa, pues como se mencionó, éstos requieren de una gran área de terreno y un elevado costo inicial, por lo que se hacen menos atractivos que los elevados.

Los costos de tubería para un quemador elevado tienden a ser menores, debido a que requieren tuberías pequeñas y cortas, también la distancia entre el punto de descarga desde las válvulas de seguridad y la chimenea del quemador es menor que para el caso de los quemadores de fosa.

El diseño adecuado del quemador es esencial, si el quemador opera con alta eficiencia de combustión, proporcionará la seguridad y el efecto deseado. Cada quemador tiene un rango óptimo de flujo de gas y velocidad de salida, en donde la cantidad de hidrocarburos no quemados se reduce sin un incremento significativo de NO_x .

Para asegurar la ignición de los gases, se instalan pilotos continuos de ignición remota, esto es recomendado para todos los quemadores, generalmente el sistema piloto consta de tres componentes:

1. Un piloto continuo.
2. Un piloto "ON-OFF", este tipo es usado solamente para asegurar la ignición de un piloto continuo, los controles del ignitor del piloto están localizados cerca de la base del quemador elevado y al menos a 100 ft de los niveles de piso.
3. Un ignitor, el tipo más comúnmente usado es el de propagación de flama, el cual utiliza una chispa desde localización remota para encender una mezcla inflamable.

El número de sistemas piloto requeridos por el quemador en gran parte está en función de las condiciones del viento, un mínimo de dos sistemas piloto es recomendado, estos pilotos deben ser distribuidos uniformemente alrededor en lo alto del quemador.

Quemadores sin humo.

Una flama se vuelve luminosa cuando partículas incandescentes de carbón están presentes en ésta, cuando estas partículas se enfrían forman humo.

La prevención de la formación del humo en los quemadores, normalmente se lleva a cabo en tres diferentes formas:

1. Por adición de vapor, es lo más comúnmente usado para la producción de un quemado sin humo.
2. Efectuando una premezcla de aire y combustible antes de iniciar la combustión, de tal forma que se suministre suficiente oxígeno para efectuar una combustión eficiente.
3. Por distribución del flujo de gas a través de un número de pequeños quemadores (como en el tipo "multi-jet").

Los quemadores sin humo se requieren para disponer limpiamente de las corrientes de gases de desecho, este tipo de quemadores es usado en: plataformas marinas, terminales de almacenamiento, refinerías y plantas petroquímicas.

Las corrientes externas de ayuda que utilizan este tipo de quemadores como lo son: vapor, agua, gas combustible y aire para producir mezclas de gas / aire a gran velocidad y turbulencia, tienen usualmente los siguientes niveles de consumo:

- ✓ Agua: de 1 a 5 lbs por lb de hidrocarburo, dependiendo del grado de atomización del agua. El viento también tiene gran efecto sobre el esparcido y puede reducir grandemente su efectividad.
- ✓ Vapor o gas combustible: de 0.15 a 0.5 lbs por lb de hidrocarburo.
- ✓ Aire: un soplador utilizará de 3 a 7 lbs de aire por lb de hidrocarburo para la producción de un quemado sin humo.

Quemadores de fosa para quemado sin humo.

Este tipo de quemador es de gran efectividad para tratar gases de desecho en volúmenes relativamente bajos, aquí la corriente de gas es dividida en etapas de quemado por medio de válvulas controladoras debidamente escalonadas en varios rangos de presión, cada una de estas válvulas está instalada a la entrada de un cabezal de quemado, y está protegida de la radiación generada en el quemador.

Numerosos tubos verticales ("riser") emergen del cabezal de quemado, dividiendo aún más la corriente de gas, en la punta del "riser" es quemada una pequeña cantidad de gas en una tobera especialmente diseñada para crear turbulencia y una alta velocidad a la salida, resultando consecuentemente un quemado sin humo, ya que de este modo se logra una alta eficiencia en la combustión.

La instalación puede estar enclaustrada en una fosa de quemado a fin de disminuir el efecto de la radiación del quemador.

Los quemadores de fosa para quemado sin humo constan de una boquilla de quemado o tubería de acero o aleación, a la que se le protege internamente con refractario, tienen un sistema de seguridad o sello interno mediante mamparas colocadas de tal manera que tienden a evitar el retroceso de flama y minimizar el consumo del gas de ayuda, a esta boquilla se le pone un sistema de ignición y pilotos de encendido.

Unidad de Encendido Remoto.

Sistema de ignición.

Un panel de ignición necesita de una corriente de gas combustible y de una de aire comprimido, la mezcla de combustión se hace en una cámara en la que la chispa necesaria la da una bujía excitada por un transformador eléctrico.

La mezcla encendida es usada en un instante de tiempo y viaja a través de la tubería de ignición hasta los pilotos del quemador.

Sistema de control.

Es necesario monitorear la temperatura de la flama del piloto por medio de un termocople hasta un tablero de control, en donde luces indicadoras darán testimonio de la presencia o ausencia de flama.

Capítulo 4 ***Determinación de los Flujos de Relevo
Individuales para Diseño.***

***<< Nuestro quehacer en la vida no consiste en superar a otros
sino en superarnos a nosotros mismos, romper nuestros propios
récorde, sobrepasar nuestro pasado con nuestro presente. >>***

Stewart Johnson.

Capítulo 4

Determinación de los Flujos de Relevo Individuales para Diseño.

Se debe recordar que cuando existan varias causas en un mismo sistema que incrementen la presión normal de operación, el dispositivo de relevo debe ser diseñado para la mayor carga generada, asegurando así un funcionamiento correcto en las demás situaciones.

La determinación de los flujos de relevo dependerá de la causa de "sobrepresión" en el sistema.

Las bases para la determinación de los flujos de diseño resultantes, serán presentadas a continuación de una forma general, para cada cálculo particular de diseño se deberá aplicar un buen juicio de ingeniería. Los resultados obtenidos deben ser mecánicamente, operacionalmente y económicamente factibles, en ningún caso se debe arriesgar la integridad del personal ni la de las instalaciones.

El flujo de líquido o de vapor a relevar, está en función del tipo de energía que entra al sistema, las formas más comunes son: la *entrada de calor* (elevación de presión indirecta a través de vaporización o de expansión térmica) y la *elevación de presión directa* por medio de una fuente de mayor presión, la "sobrepresión" puede resultar de una o de ambas fuentes.

Existen algunos factores que deben tomarse en cuenta para determinar los flujos individuales de relevo, la presión y la temperatura deben ser consideradas, debido a que estas variables afectan el comportamiento volumétrico y la composición de los líquidos y vapores.

El vapor es generado con la adición de calor al líquido, el flujo de vapor producido cambia en sus condiciones de equilibrio como resultado del incremento de presión en un espacio confinado y en función del calor contenido en las corrientes que continuamente fluyen hacia el equipo y fuera de éste. En muchas ocasiones el líquido es una mezcla de varios componentes con diferentes puntos de ebullición, si la entrada de calor continúa los componentes pesados llegarán a ser evaporados.

Durante el relevo, los flujos de vapor van cambiando, y también los pesos moleculares a diferentes intervalos de tiempo, por esto deben ser estudiados y cuidadosamente analizados para determinar el flujo pico de relevo y la composición del mismo. Para fluidos que alcanzan o exceden su temperatura crítica antes de alcanzar la presión de ajuste de la válvula de relevo, el calor latente teóricamente debe ser cero, sin embargo al decrecer el calor latente el calor de expansión se vuelve un factor suficientemente importante para ser considerado.

Para determinar las cargas de relevo individuales, como ya se comentó, también se *debieran* considerar los efectos del elemento tiempo, la intervención de los operadores "a tiempo", y las características del proceso, pero la decisión de considerar o no estos elementos requiere de la consulta a los responsables de la operación, un operador con un buen entrenamiento puede ayudar en la reducción de las descargas de productos causadas por una "sobrepresión", simplemente con interrumpir la entrada de vapor a un rehervidor o con el paro de una bomba por ejemplo, por esto es de suma importancia capacitar a los operadores acerca de la responsabilidad que deben tomar en situaciones de emergencia. Comúnmente se acepta como rango de respuesta de un operador de 10 a 30 min, dependiendo de la complejidad de la planta; la efectividad de esta respuesta está en función de la dinámica del proceso.

Los cálculos para determinar las cargas de relevo se pueden dividir en tres clases, están en función de los tipos básicos de cargas que se pueden generar.

Antes de continuar, cabe mencionar que para todos los casos la carga a relevar, así como las propiedades físicas del fluido de desfogue, deben calcularse precisamente a las condiciones de relevo, es decir, a la presión de ajuste más la "sobrepresión".

El diseñador debe estimar con una buena aproximación las cargas de relevo, no necesariamente deben ser valores absolutos, se obtendrán cargas de relevo más significativas analizando la operación de los equipos a las condiciones de relevo, aunque finalmente esto resulta imposible de predecir con exactitud, pues es difícil saber como se comportará una unidad en condiciones de emergencia.

Se recordará rápidamente los tipos básicos de cargas que se pueden generar en una unidad de proceso:

- ✓ Cargas por "desbalance en cargas térmicas o calor", un ejemplo clásico es el de falla de agua de enfriamiento en un sistema de fraccionamiento.
- ✓ Cargas por "bloques", el cierre no previsto o inadecuado de alguna salida de una unidad puede generar alguna carga a relevar.
- ✓ Cargas por "fuego", los cálculos en este caso están basados en el fluido contenido en el recipiente expuesto al fuego, en la geometría de dicho equipo, y en el hecho de que éste se encuentre o no aislado.

A continuación se presenta un análisis más detallado de como determinar los flujos de relevo en las diferentes situaciones de emergencia que resultan más comunes.

Descargas Bloqueadas.

Para proteger un sistema o recipiente cuando todas las salidas están bloqueadas, la capacidad del dispositivo de protección debe ser al menos tan grande como la capacidad de las fuentes de "sobrepresión", si todas las salidas no son bloqueadas, las capacidades de éstas deben ser adecuadamente consideradas. Algunas fuentes de "sobrepresión" son: bombas, compresores, cabezales de suministro de alta presión, fuentes de calentamiento, etc..

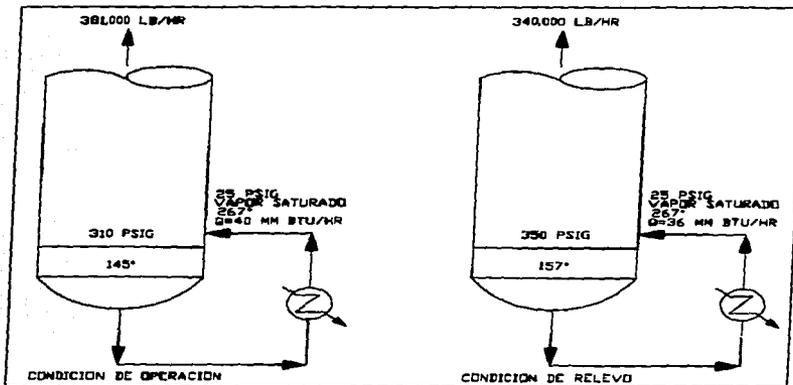
Falla del Medio de Enfriamiento en un Condensador.

Esta falla en una columna de fraccionamiento provoca "sobrepresión", ya que el rehervidor sigue en operación y generando vapor, el flujo de relevo es el que entra al condensador, pero no necesariamente es igual al de operación, se debe recalcular a la temperatura correspondiente a la nueva composición del vapor a la presión de relevo, estas condiciones reducen el flujo producido en el rehervidor pues al incrementarse la presión y la temperatura se reduce la carga térmica transferida por éste, ver fig. 4.1.

En general, la capacidad de relevo requerida en una torre fraccionadora es igual al total del gas y vapor que entra a la torre más el generado ahí, menos el vapor condensado por alguna corriente o reflujo lateral enfriado por algún medio que no sea el de la falla.

Los tanques de reflujo normalmente están diseñados para un tiempo de residencia del líquido aproximado de 10 min, si la falla de enfriamiento excede este tiempo se perderá el reflujo, y entonces la composición del vapor en el domo, la temperatura y el flujo de relevo pueden cambiar significativamente.

Cuando el medio de enfriamiento es aire (soloaires), se debe dar crédito de la condensación parcial debido a los efectos de convección natural, por lo general, es práctica común considerar la capacidad de relevo del 70 al 80 % del flujo calculado para cuando se presenta relevo por falla de agua de enfriamiento. En los soloaires, el cierre de persianas como resultado tal vez de una falla en el control automático debe considerarse como falla total del medio de enfriamiento.



Comparación entre las condiciones de operación y las condiciones de relevo.
fig. 4.1

Falla de Reflujo.

Esta por lo general es causada por una falla o un mal funcionamiento en la válvula de control de reflujo, por falla de aire de instrumentos, o por algún problema en la operación; como resultado el vapor del domo no puede condensarse y la presión se incrementa debido a que el condensador empieza a inundarse.

Usualmente, el flujo de relevo se considera igual que en el caso de pérdida total de enfriamiento, pero cada caso debe ser cuidadosamente analizado.

Falla en el Control Automático del Proceso.

Cuando la señal de transmisión, o el medio de operación sobre un elemento de control final falla, el dispositivo de control permanecerá en la posición para la cual fué diseñado, totalmente abierto o totalmente cerrado, o bien mantendrá su última posición de control antes de la falla.

En esta situación existe una gran posibilidad de que se presente un relevo de presión, a pesar de que algunas válvulas de control cuentan en muchos casos con un "by-pass" el cual pudiera ser operado manualmente.

La masa a relevar será la indicada como capacidad normal de estas válvulas, pero corregida a las condiciones de relevo, se debe realizar un cuidadoso análisis acerca de los flujos, presiones, temperaturas, etc. de las corrientes relacionadas con estas fallas.

Por ejemplo, si existe una válvula de control a la entrada de un sistema que a falla abre, la capacidad de relevo requerida será la diferencia entre el máximo flujo de entrada y el flujo normal de salida a las condiciones de relevo, considerando que todas las demás válvulas permanecen en su posición normal de operación.

Entrada de Calor Anormal al Proceso.

Por ejemplo, si el control de temperatura en un rechevidor falla, la vaporización se incrementará, y si ésta excede la capacidad de condensación en un sistema se presentará un incremento de presión.

La capacidad de relevo requerida es la generación máxima de vapor a las condiciones de relevo, incluyendo cualquier incondensable producto del sobrecalentamiento, menos el flujo de vapor que sale o que se condensa en condiciones normales.

Expansión Térmica de Líquidos.

Cuando se bloquea un líquido en un recipiente o cambiador de calor, y existe una fuente de calor, el líquido tenderá a expandirse produciendo un incremento de presión que debe ser relevado.

En caso de requerirse el cálculo de la masa a relevar, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = B H / 500 d C_p$$

Variables:

B = coeficiente de expansión volumétrico ($^{\circ}\text{F}^{-1}$).

C_p = capacidad calorífica del líquido (BTU / lb $^{\circ}\text{F}$).

d = densidad relativa del líquido.

H = calor suministrado (BTU / hr).

Q = capacidad requerida (gpm).

FLUIDOS	VALORES DE B EN ($^{\circ}\text{F}$)⁻¹
AGUA	0.001
HIDROCARBUROS LIGEROS	0.001
GASOLINA	0.008
DESTILADOS	0.006
RESIDUOS	0.004

En casi todos los casos en que se releva líquido por esta causa, es adecuado utilizar una válvula de 3/4" x 1".

Falla de Energía Eléctrica.

En muchas plantas, ciertos equipos y controles son operados por energía eléctrica, y si ésta falla dichos controles quedarán inutilizados. Este tipo de falla trae consecuencias que se pueden relacionar con las ya mencionadas, por ejemplo, si la bomba que maneja el reflujo de una torre falla, dicha falla se relaciona con la falla de reflujo, y la masa a relevar se considerará de acuerdo con lo indicado anteriormente.

La determinación de los requerimientos de relevo que resulten de la falla de energía eléctrica, implica un cuidadoso análisis de la planta o sistema, para poder evaluar así que equipos son afectados por la falla, y como esta falla de equipo influye en la operación de toda la planta.

La falla de energía eléctrica puede ser analizada de tres formas:

- ✓ **Falla local**, una pieza del equipo es afectada.
- ✓ **Falla intermedia**, se ven afectados un bus, o un centro de distribución, o bien un centro de control de motores.
- ✓ **Falla total**, todo el equipo operado eléctricamente es afectado.

Ruptura de Tubos.

En este caso, por ejemplo se protege el envolvente o los tubos de un cambiador de calor cuando la presión de operación de uno de los lados es mayor que la de diseño del otro, por lo menos 1.5 veces mayor (presión de prueba hidrostática).

A continuación, se presentan algunas fórmulas para determinar la masa a relevar, siempre y cuando la relación de presiones sea igual o mayor a 2:

$$\text{LÍQUIDOS - gpm} \quad Q = 34.8 d^2 (DP)^{0.5}$$

$$\text{VAPORES - lb / hr} \quad W = 1580 d^2 (DP)^{0.5}$$

Variables:

d = diámetro interior del tubo (in).

DP = diferencia de presiones (psi).

Q = gasto volumétrico (gpm).

W = gasto másico (lb / hr).

En la determinación del flujo a relevar, se deberá poner atención en aquellos casos en los que un líquido se vaporize como resultado de una reducción de presión, o bien en el caso de ciertos productos volátiles que son vaporizados debido a los efectos combinados de la reducción de presión y la vaporización del producto al ponerse en contacto con el material caliente del lado de baja presión.

Fuego Externo.

La masa a relevar cuando se presenta un incendio, es función del calor absorbido por el recipiente expuesto al fuego, este calor absorbido está en función del tamaño y características de la instalación, la determinación de este calor se basa en la siguiente ecuación:

$$Q = 21\,000 F A^{0.82}$$

La masa a relevar se calcula de la siguiente manera:

$$W = Q / Y$$

Variables:

A = superficie total "mojada" (ft²). Esta superficie es la que contiene al líquido en condiciones normales de operación, y está considerada hasta dentro de una altura de 25 ft desde el nivel en donde se encuentra el fuego.

Q = calor absorbido por la superficie "mojada" del recipiente (BTU / hr).

W = masa a relevar (lb / hr).

Y = calor latente de vaporización a la temperatura de relevo (BTU / lb) (punto de ebullición a la "sobrepresión" del relevo).

FACTOR DE AISLAMIENTO.

F	TIPO DE INSTALACIÓN.
1.0	RECIPIENTE DESNUDO.
0.3	RECIPIENTE CON AISLAMIENTO, CONDUCTIVIDAD 4.0 BTU / hr ft ² °F.
0.15	RECIPIENTE CON AISLAMIENTO, CONDUCTIVIDAD 2.0 BTU / hr ft ² °F.
0.075	RECIPIENTE CON AISLAMIENTO, CONDUCTIVIDAD 1.0 BTU / hr ft ² °F.
1.0	RECIPIENTE DESNUDO, CON APLICACIÓN DE AGUA SOBRE EL MISMO.
1.0	FACILIDADES DE "VACIADO" Y DESPRESURIZADO.
0.03	RECIPIENTE A NIVEL DE PISO, CUBIERTO DE TIERRA.
0.0	RECIPIENTE ENTERRADO.

La primera ecuación es aplicable en donde existe algún drenaje que evite la acumulación de líquidos inflamables directamente bajo el recipiente, en lugares en donde no exista drenaje para el área bajo

el recipiente, tal como en el caso de diques o sardineles, el vapor a relevar por un fuego externo deberá calcularse utilizando los criterios de "calor absorbido".

BTU / hr ft ² .	RECIPIENTE.
20 000	SIN AISLAMIENTO.
10 000	CON 1" DE AISLAMIENTO.
6 000	CON 2" DE AISLAMIENTO.
3 000	CON 4" DE AISLAMIENTO.

EL AISLAMIENTO DEBE SER RESISTENTE AL FUEGO, DE NO SER ASÍ SE ASUME QUE EL RECIPIENTE ESTÁ DESNUDO.

Si un recipiente está expuesto en un incendio, hay que considerar que es posible que se presente el siguiente problema:

Cuando un metal está sometido de un lado al fuego, y del otro lado está la zona de vapor (superficie "no mojada"), la temperatura del metal puede alcanzar un nivel tal que se presente un esfuerzo que provoque la ruptura del metal, aún si la presión no ha excedido el 120 % de la presión de diseño del recipiente, para evitar que ésto ocurra se puede utilizar un "sistema de emergencia para despresurizar" el recipiente.

Estos sistemas deben tener la capacidad adecuada de venteo, y así permitir la reducción de los esfuerzos sobre el recipiente hacia un nivel en donde la ruptura no sea una consecuencia, por lo general, ésto involucra la reducción de la presión del equipo desde las condiciones iniciales hasta una determinada presión en unos 15 min. En estos sistemas de "despresurización" generalmente se requiere la intervención del operador, por lo que comunmente se considera como presión inicial la de operación, aún cuando las prácticas de operación sugieren como presión inicial la de diseño.

El ajuste de la presión de "despresurización" es de 100 psig o el 50 % de la presión de diseño, el valor que resulte menor.

Ya que las válvulas de relevo no pueden proteger a los recipientes que reciben calor debido a un fuego en su superficie "no mojada", existen otros métodos de protección para éstos que limitan la entrada de calor, y son las "barreras" contra la exposición al fuego, por ejemplo: los aislamientos, las cubiertas de tierra, enfriamientos de superficie por medio de agua, drenajes, etc..

Es conveniente considerar en la elección del sistema de protección para evitar la ruptura del metal, que los sistemas de control para "despresurizar" en condiciones de operación normal pueden fallar, o bien que en las condiciones de emergencia estos sistemas puedan quedar inaccesibles para los operadores.

Capítulo 5

Conclusiones.

<< Nunca me doy cuenta de lo que se ha hecho; sólo veo lo que falta por hacer. >>

Madame Curie.

Capítulo 5

Conclusiones.

Esta publicación ha sido desarrollada como una guía para los ingenieros que de una u otra manera intervienen en el diseño, instalación, y operación de plantas industriales, particularmente en lo que se refiere a los sistemas de relevo de presión y sistemas de despresurización.

Un tema tan amplio como lo es el de la "sobrepresión", requeriría no sólo de una guía como la presente para su completa comprensión y evaluación, sino serían necesarios muchos más escritos al respecto, para así tratar de cubrir la mayor parte de los aspectos involucrados y que deben ser considerados en el diseño de los Sistemas de Alivio de Presión.

Los puntos aquí tratados, dan una gran idea del como adentrarse en la evaluación y el control del exceso de presión que pueda ser generado en una operación normal de un proceso industrial, éste fué el objetivo de este trabajo y se espera se haya cumplido.

La información que se presentó, está basada en la recopilación de una serie de escritos, producto de la acumulación de conocimientos y experiencias de diferentes ingenieros, expertos calificados en las diversas áreas que intervienen en el diseño eficiente y seguro de una planta de proceso, estos escritos también son una recolección de recomendaciones económicas y prácticas de seguridad para el relevo del exceso de presión.

No se debe olvidar que las unidades de proceso se vuelven cada vez más modernas y complejas, tanto en su diseño como en su operación, los grandes niveles de energía involucrados en estas unidades son un punto que obliga a dar importancia al diseño de un Sistema de Desfogues.

No hay que perder de vista que sea cual fuere el método de diseño para los sistemas de protección por "sobrepresión", las soluciones deben ser siempre las mejores en economía, eficiencia y sobre todo en *seguridad*.

Los códigos y publicaciones editadas respecto a la "sobrepresión", no deben considerarse como únicos en la forma de solucionar este problema, el ingeniero de diseño siempre se debe aplicar a fondo con su criterio y experiencia en el análisis de cada caso en particular:

"ningún documento escrito sustituye a un análisis calificado de ingeniería".

Esta guía presentó una serie de recomendaciones prácticas aplicables a los sistemas de relevo, ahora se tiene mayor información sobre como seleccionar el Sistema de Alivio de Presión adecuado, de cuales son las diferentes circunstancias y riesgos involucrados en las diversas instalaciones industriales, de como estimar los flujos individuales de relevo, de cuales son los dispositivos que existen para el alivio de presión, y cuales los sistemas requeridos para la adecuada disposición de los desfogues.

Este trabajo forma parte de un aspecto muy importante que debe ser considerado en un proyecto desde su concepción, hasta su construcción y operación, y que siempre debe formar parte de la vida diaria:

"la seguridad".

Siempre que se esté involucrado en el diseño de un Sistema de Alivio de Presión, no se deben perder de vista los siguientes puntos: los reglamentos locales, la protección al personal en operación, la disminución de las pérdidas de material durante y después de una falla operacional, la importancia de disminuir la pérdida de tiempo ocasionada por la "sobrepresión" en los equipos, la importancia de

prevenir el daño a los equipos y a las propiedades cercanas, y la ventaja que se tendría con todo esto en la reducción de las primas de seguros.

Un factor importante, que deliberadamente no es tomado en cuenta en los cálculos, aproximaciones y consideraciones en los diseños de los sistemas de seguridad es: "el operador", un operador bien entrenado y capacitado, puede contribuir a reducir una gran carga potencial que pudiera causar "sobrepresión" y destruir una unidad, por lo que resulta muy importante poner énfasis en el entrenamiento para los operadores en sus respuestas en el caso de la elevación de presión en los procesos, casi de la misma forma en que son entrenados en la prevención de incendios.

"Aún con los mejores sistemas de seguridad considerados en el diseño, y con los mejores equipos, ninguna planta es segura sin las correctas acciones de su personal".

Otro punto básico a considerar en el diseño es la tubería en los sistemas de relevo, ya que no sólo es importante elegir el sistema adecuado y el mejor dispositivo para el alivio de presión para un caso determinado, pareciera que elegir "un simple tubo" no es un punto significativo en un Sistema de Desfogues, pero ya se han visto las razones del porque las válvulas de relevo y los discos de ruptura deben ser cuidadosamente instalados: las tuberías de entrada y salida pueden reducir la capacidad de diseño de los dispositivos, su operación se puede ver seriamente afectada al punto tal que la presión de apertura o cierre sea modificada, pudiéndose presentar desde fugas prematuras hasta fracturas o daños mecánicos en los equipos protegidos, se pueden causar fallas mecánicas en las tuberías, y sobre todo no hay que olvidar que un buen diseño también se verá reflejado en el ahorro de dinero.

La operación de un sistema para relevo de presión deberá siempre estar dentro de los límites permitidos para las condiciones ambientales del lugar de instalación; cuando el producto que se releva es de alto valor o su combustión puede causar riesgos mayores, puede ser conducido hacia un sistema de recuperación, o de neutralización, o de formación de otro producto de menor riesgo.

Finalmente se remarcará como punto de importancia en la elaboración de un proyecto lo siguiente:

"La seguridad, para evitar riesgos de cualquier tipo, es la base para el diseño y desarrollo de un proyecto industrial".

Capítulo 6

Bibliografía.

<< “Desde mi punto de vista, sólo puede ser llamado notable el hombre que se distingue de los demás por los recursos de su espíritu y que sabe contener las manifestaciones provenientes de su naturaleza, mostrándose al mismo tiempo justo e indulgente hacia las debilidades de los demás”. >>

G. J. Gurdjieff.

Capítulo 6

Bibliografía.

API STD. 2000.

VENTING ATMOSPHERIC AND LOW PRESSURE STORAGE TANKS.

API RP 520.

DESIGN AND INSTALLATION OF PRESSURE - RELIEVING SYSTEMS IN REFINERIES. PART I - "DESIGN".

API RP 520.

DESIGN AND INSTALLATION OF PRESSURE - RELIEVING SYSTEMS IN REFINERIES. PART II - "INSTALLATION".

API RP 521.

GUIDE FOR PRESSURE RELIEF AND DEPRESSURING SYSTEMS.

ASME Code.

SECTION VIII - DIVISION 1 PRESSURE VESSELS.

Badger Walter L. / Banchemo Julio T.

INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA.
Mc. Graw-Hill. 1970.

Banerjee K. / Cheremisinoff N.

FLARE GAS SYSTEMS POCKET HANDBOOK.
Gulf Publishing Company. Book Division. Houston Texas. 1985.

Burgess A. William.

RECOGNITION OF HEALTH HAZARDS IN INDUSTRY.
John Wiley & Sons Inc.. 1976.

Campos Benjamín (I.M.P.).

DISEÑO. SELECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD.
Asociación Mexicana de Higiene y Seguridad. Diciembre 1985.

ENCICLOPEDIA SALVAT DICCIONARIO.

Salvat Editores. S.A.

Greene Richard W.

VÁLVULAS. SELECCIÓN. USO Y MANTENIMIENTO.
Mc. Graw-Hill. 1988.

Jenett E.

COMPONENTS OF PRESSURE - RELIEVING SYSTEMS.
Chemical Engineering. August 19. 1963.

Jenett E.

DESIGN CONSIDERATIONS FOR PRESSURE - RELIEVING SYSTEMS.
Chemical Engineering. July 8. 1963.

Jenett E.
HOW TO CALCULATE BACK PRESSURES IN VENT LINES.
Chemical Engineering. September 2, 1963.

Jenkins J. H. / Cobb C. B.
DESIGN FOR BETTER SAFETY RELIEF.
Hydrocarbon Processing. August 1977.

Kent G. R.
PRACTICAL DESIGN OF FLARE STACKS.
Chemical Engineering.

Kletz Trevor.
PROTECT PRESSURE VESSELS FROM FIRE.
Hydrocarbon Processing. August 1977

Ludwig Ernest.
APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PLANTS.
Gulf Publishing Company.

Mason G. S. / Kumar R.
ALGORITHM SIZES FLARE PIPING.
Chemical Engineering. June 20, 1988.

Nazario Francisco N.
RUPTURE DISCS. A PRIMER.
Chemical Engineering. June 20, 1988.

NFPA Code.

Ortiz Arrollo Marco A.
DESARROLLO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE PARA UN SISTEMA DE TUBERÍAS PARA UN
PROYECTO INDUSTRIAL.
CENETI. 1977.

PEMEX:
ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD PARA SISTEMAS DE DESFOGUE EN
REFINERÍAS.

PEMEX:
PROCEDIMIENTO PARA LA JERARQUIZACIÓN DE VÁLVULAS DE ALIVIO EN PLANTAS DE
PROCESO.

Ruiz Iturrégui José Ma.
CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.
Ediciones Deusto S.A.. Bilbao 1978.

Santamaría Ramiro.
ANÁLISIS Y REDUCCIÓN DE RIESGOS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA.
Fundación MAPFRE.

Soen H. Tan.
SIMPLIFIED FLARE SYSTEM SIZING.
Chemical Engineering. June 20. 1988.

Vervalin Charles H.
FIRE PROTECTION MANUAL.
Gulf Publishing Company. Book Division. Houston Texas. 1973.

Vervalin Charles H.
FIRE PROTECTION MANUAL FOR HYDROCARBON PROCESSING PLANTS. VOLUME 2.
Gulf Publishing Company. Book Division. Houston Texas. 1981.

Whelan T. W. / Thomson S. J.
REDUCE RELIEF SYSTEM COSTS.
Hydrocarbon Processing. August 1975.