

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE PSV (PRESSURE SAFETY VALVES)

JAIR ZAIR JAIMES ARANGO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2015

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE PSV (PRESSURE SAFETY VALVES)

JAIR ZAIR JAIMES ARANGO

TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO

Director:

CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA  
M.Sc. en Ingeniería Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2015

*A Dios que gracias a Él todo esto ha sido posible.  
A mis padres y hermanas por su constante apoyo incondicional.  
A mi familia en general por siempre estar conmigo.  
A mis amigos y compañeros por su amistad y tiempo compartido.*

AGRADECIMIENTOS

Esta práctica empresarial se realizó gracias a la empresa TIPIEL SA y a la escuela de Ingeniería Química.

A todos los ingenieros de la Dirección de Proceso de la compañía por su valiosa colaboración y apoyo en el transcurso de la pasantía especialmente al Ingeniero Oscar Arroyave por su esmero en enseñarme y guiarme como tutor de la práctica, además al Profesor Crisóstomo Barajas por su apoyo y entusiasmarme para que realizara esta práctica.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	16
1. MARCO TEÓRICO .....	17
1.1 TIPIEL SA .....	17
1.2 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3 SISTEMAS DE ALIVIO .....	19
1.4 DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN .....	20
1.5 TIPOS DE EMERGENCIAS.....	21
1.6 VÁLVULAS DE SEGURIDAD .....	21
1.7 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD .....	21
1.8 DISCOS DE RUPTURA .....	22
1.9 DISEÑO DE LAS LÍNEAS ASOCIADAS A UN DISPOSITIVO DE ALIVIO DE PRESIÓN.....	23
2. OBJETIVOS .....	24
2.1 Objetivo General .....	24
2.2 Objetivos Específicos.....	24
3. ALCANCE .....	25
4. METODOLOGÍA .....	26
4.1 Revisión y estudio de los lineamientos y procedimientos a seguir para elaborar la herramienta.....	27
4.3 Implementación de la herramienta basada en metodologías de dimensionamientos anteriores .....	28
4.4 Validación de la herramienta con ejemplos de proyectos anteriores ya aprobados por clientes.....	28
4.5 Generación del reporte del cálculo del dispositivo, junto con el área de orificio de descarga y la mejor configuración de las líneas de entrada y salida .....	29

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	30
5.1 LINEAMIENTOS Y PROCEDIMIENTOS .....	30
5.2 MANUAL PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE ALIVIO.....	30
5.3 ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO .....	30
5.4 VALIDACIÓN .....	31
5.5 REPORTE.....	34
6. CONCLUSIONES .....	35
7. RECOMENDACIONES .....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXOS .....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología .....	26
Figura 2. Análisis gráfico del porcentaje de error obtenido con la herramienta respecto al programa especializado PSV Plus.....	33
Figura 3. Criterio para la instalación de válvulas por alivio térmico en tuberías.....	42
Figura 4. Factor de corrección por contrapresión, $K_b$ , para válvulas de seguridad balanceadas tipo fuelle en servicio de gas o vapor.....	54
Figura 5. Factor de corrección por contrapresión, $K_w$ , para válvulas de seguridad balanceadas tipo fuelle en servicio líquido.....	57
Figura 6. Factor de corrección por viscosidad, $K_v$ .....	57

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Áreas de los orificios de las válvulas de seguridad según API y ASME ..	22
Tabla 2. En este caso los estándares que se leyeron y aplicaron fueron: .....	27
Tabla 3. Pruebas de dimensionamiento de varios proyectos y comparación con otras herramientas .....	32
Tabla 4. Factor de corrección para el vapor sobrecalentado, $K_{SH}$ .....	56

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Tipos de Emergencias .....	38
ANEXO B. Tipos de válvulas de seguridad.....	47
ANEXO C. Ejemplos para calcular la Presión de alivio.....	50
ANEXO D. Ecuaciones de dimensionamiento de las válvulas PSV .....	52
ANEXO E. Disco de Ruptura .....	63
ANEXO F. Recomendaciones para el diseño de las líneas de entrada y salida de las PSV.....	65
ANEXO G. Ejemplo de la interfaz de la herramienta de dimensionamiento.....	70
ANEXO H. Formato del reporte interno del dimensionamiento de una PSV.....	71

## GLOSARIO

<i>Blowdown</i>	Es la diferencia entre la presión de disparo y la presión de cierre de la válvula de alivio. Se expresa como un porcentaje de la presión de disparo; su valor típico está entre 4 y 8 % de la presión de disparo.
<i>Chattering</i>	Operación inestable en la que la válvula de seguridad abre y cierra en forma alternada y rápida debido a aumentos en la contrapresión de la descarga. Este fenómeno se puede presentar tanto en servicio líquido como en vapor, cuando la válvula ha sido sobredimensionada, o cuando existe una caída de presión excesiva en el ingreso a esta, o hay una contrapresión generada muy alta.
Contrapresión	Es la presión en el lado de descarga de la válvula de alivio de presión. Corresponde a la suma de la contrapresión impuesta y la contrapresión generada.
Contrapresión impuesta	Es la presión en la línea de descarga de la válvula en el instante anterior a la apertura de la misma; esta presión es debida a descargas de otras válvulas al mismo cabezal de alivio o cuando la descarga se realiza a un sistema cerrado con una presión operativa.

Contrapresión generada	Es la presión que se tiene en la línea de descarga de la válvula después de que esta se ha abierto.
Máxima presión de apertura de la válvula	Es la suma de la presión de disparo de la válvula y de la sobrepresión permitida.
Máxima presión de operación	Es la máxima presión esperada durante la operación del sistema.
Máxima presión de trabajo permitida	Es la máxima presión que el recipiente puede soportar sin exceder los valores admisibles para las tensiones internas del material.
Presión de disparo o de apertura	Es la presión relativa a la cual la válvula de seguridad comienza a abrirse ya descargar el fluido.
Sobrepresión	Es el aumento de presión por encima de la presión de disparo, que es necesaria para obtener una completa apertura de la válvula. Se expresa como un porcentaje de la presión de disparo.

## RESUMEN

**TÍTULO:**

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE PSV (PRESSURE SAFETY VALVES)\*

**AUTOR:**

JAIR ZAIR JAIMES ARANGO\*\*

**PALABRAS CLAVES:**

Válvulas de seguridad, sistemas de alivio, emergencias de alivio, dimensionamiento.

**DESCRIPCIÓN:**

Se estudió y validó una nueva herramienta para el dimensionamiento de válvulas de alivio, que son indispensables en todo proyecto, debido a que el programa PSV Plus que se estaba usando fue comprado por Aspen HYSYS y no estará disponible por un tiempo mientras se obtiene la nueva licencia y es validado para su posterior uso.

Basados en los estándares API, se realizó el estudio de las diferentes formas que existen para dimensionar estos equipos y en qué tipo de emergencias se deben usar. Dependiendo del tipo de servicio o de condiciones de proceso, o condiciones que se pueden dar a la hora del alivio son algunos factores que deben ser tenidos en cuenta.

Para el desarrollo de esta herramienta se validaron varios programas de proveedores de estos equipos, así como una hoja de cálculo que fue suministrada por la base de operaciones principal de la empresa con sede en Roma, TECHNIP. Los resultados entregados por estas herramientas no fueron satisfactorios lo que provocó una investigación e implementación de un nuevo medio para realizar dicho cálculo.

Junto con un programa de Proveedor y con otras bases se pudo desarrollar una hoja de cálculo que permite no sólo determinar el tamaño del dispositivo de alivio sino la configuración de las líneas de entrada y salida que cumplan con las restricciones de los estándares asociados, dicha hoja será usada por TIPIEL SA en los proyectos entrantes mientras se puede obtener nuevamente el Software que se venía usando.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Crisóstomo Barajas

## ABSTRACT

**TITLE:**

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A TOOL FOR SIZING PSV (PRESSURE SAFETY VALVES)\*

**AUTHOR:**

JAIR ZAIR JAIMES ARANGO\*\*

**KEYWORDS:**

Safety valves, relief systems, relief emergencies, sizing.

**DESCRIPTION:**

It has been studied and validated a new tool for sizing relief valves, which are essential in any project; this was since the PSV Plus program that was de one that has been used was purchased by Aspen HYSYS and it will not available for a while as it is obtained the new license and validated for further use.

Based on the API standards, it was studied the different forms that exist to size these equipment and what sort of emergencies should be used in. Depending on the type of service, process conditions or under relief conditions are some factors that must be taken into account.

In order to develop this tool, several programs provided by suppliers of such equipment, as well as a spreadsheet that was supplied by the main base of the company located in Rome, TECHNIP. The results reported by these tools were not satisfactory prompting an investigation and implementation of a new mean for such calculation.

Along with a supplier program and other basis was possible to develop a spreadsheet that allows not only to determine the size of the relief device but the configuration of input and output lines that meet the constraints associated standards, this sheet will be used by TIPIEL SA on incoming projects while the new Software provided by Aspen is again available.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Crisóstomo Barajas

## INTRODUCCIÓN

En cualquier Proyecto que involucre un proceso químico es casi un hecho que se usará un recipiente a presión o que se van a manejar rangos de presión en conexiones entre los varios equipos de la planta, que en algún momento pueden, debido a varios factores, trabajar irregularmente y ocasionar un evento de sobrepresión que puede generar una emergencia y peligro tanto para el equipo como para toda la planta y sus trabajadores. Debido a esto, se ha creado la necesidad de un elemento o instrumento que ayude a controlar este escenario.

De acuerdo con el código ASME VIII y todo el resto de códigos nacionales: todo recipiente a presión deberá estar provisto con un dispositivo de alivio de presión con el objetivo de prevenir tanto como sea posible que ocurra un escenario de sobrepresión.

Este dispositivo que se verá a profundidad más adelante es sólo una de las capas de protección con las cuales actualmente debe contar toda planta, en orden de actuación y emergencia así:

- Diseño del equipo o tubería (Seguridad inherente)
- Sistemas de control
- Intervención del operario (En respuesta de una señal de alarma)
- Sistemas de Apagado (Activado por una emergencia)
- **Dispositivos de alivio**
- Dispositivos de protección contra incendio de acción activa y pasiva
- Plan de Respuesta a Emergencias

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 TIPIEL SA

Es una compañía Colombiana de capital mixto encargada de prestar servicios de Ingeniería y Construcción cuyos principales sectores de actividad son la Producción y Refinación Petrolera y el Petroquímico. Dentro de sus actividades están: Estudios de Proceso, Conceptuales y Básicos, Estudios de Factibilidad, Dirección y Administración de Proyectos, Ingeniería, Gestión de Compras, Gerencia y Supervisión a la Construcción, Construcción de Plantas, Arranque de Plantas, Interventoría, Entrenamiento del Personal del Clientes, entre otras.

Su misión es “Hacer realidad los proyectos de petróleo, gas y energía de nuestros clientes, de forma segura, ética y exitosa para todos nuestros grupos de interés” y su Visión es “A partir del liderazgo en Colombia, ser reconocida para el año 2016 como la compañía de referencia en Latinoamérica en la ejecución de proyectos integrales en Ingeniería, compra y construcción”.

Es constituida en 1975 con capital mixto Colombiano y extranjero, sus primeros trabajos y proyectos los realiza con Ecopetrol, no le tomó tiempo diversificarse hacia otras áreas mediante la contratación e implementación de proyectos relacionados con gas, energía química fina y alimenticia, agroindustria e infraestructura. Lleva 39 años continuos en operación, con más de 250 proyectos exitosamente ejecutados.

Desde 1990 se comienza con el programa de entrenamiento de ingenieros fuera del país, desde ese tiempo se adoptado una filosofía de capacitación constante para los trabajadores dentro y fuera del país.

Hoy en día a través de su sede principal en Bogotá, está organizada para operar en toda Colombia y en el área Andina, cuenta con dos sucursales en Argentina y Perú,

además también cuenta con tres sucursales en Colombia localizadas en Barrancabermeja, Cartagena y Villavicencio.

El crecimiento de la empresa ha sido muy satisfactorio, medido en Horas/Hombre trabajadas pasó de cotizar aproximadamente 2 mil Horas/Hombre en el año 2000 a cotizar actualmente aproximadamente 14 mil Horas/Hombre. Hoy en día cuenta con aproximadamente 600 trabajadores contando las oficinas operativas en toda Colombia, además completa un total de hora de entrenamiento al personal de 51 mil horas.

## **1.2 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Los dispositivos de alivio de presión son hoy en día un requisito para todo equipo o línea asociada a un equipo que maneje presiones de operación superiores a 15 Psig, durante situaciones de sobrepresión provocadas por problema de operación o emergencias como en el caso fuego.

Para el dimensionamiento de dichos dispositivos se usaba un programa llamado PSV Plus, que era muy bueno y arrojaba resultados muy precisos, ya que calculaba no sólo el tipo de válvula que se debería usar para esta emergencia sino también el tamaño de la misma, además la configuración de tamaño de las líneas de entrada y salida de la válvula. Dicho programa fue comprado hace unos meses por el Software Aspen HYSYS quién bloqueó la licencia del PSV Plus y que estará disponible en el lanzamiento de su nueva versión AspenOne V8.6.

Debido a esta situación, es considerable el tiempo que se debe esperar a que la licencia para la nueva versión de Aspen sea adquirida y lo que toma aún más tiempo a que sea validada por TECHNIP, base principal y socio mayoritario de TIPIEL SA, localizada en Roma, Italia.

Teniendo en cuenta que durante este tiempo van a seguir surgiendo proyectos en los cuales el 98 % requieren de la instalación de una de estas válvulas, se creó la necesidad de crear un herramienta que cumpliera con las funciones y diera los mismo resultados satisfactorios del PSV Plus.

Tomando como referencia los estándares que usaba PSV Plus para dicho dimensionamiento se estudió, investigó y creó una nueva herramienta que permitiera el cálculo rápido y exacto de la configuración de la válvula solicitada en determinada situación de emergencia de cualquier proyecto entrante.

### **1.3 SISTEMAS DE ALIVIO**

Los sistemas de alivio son sistemas de emergencia que permiten disminuir la presión en exceso de un equipo o unidad, hasta un nivel normal de operación por medios manuales o controlados, o mediante dispositivos automáticos de alivio de presión.

Se aclara que el alivio de presión y la quema de gases son, de hecho, sólo dos partes de todo el sistema de seguridad de una instalación. Según API RP 2G un sistema completo de parada de seguridad (“*Safety Shutdown System*”) incluye dispositivos para:

- Detectar situaciones anormales
- Aislar o sacar de línea (“*Shut in*”) los componentes necesario del sistema
- Activar alarmas
- Poner en funcionamiento los sistemas de Contra Incendio
- Despresurizar recipientes y tubería
- Suministrar alivio de emergencia
- Eliminar los vapores por Tea o venteo

El API RP 14C resume los procedimientos para analizar las exigencias de seguridad para componentes de proceso. El procedimiento general lo completa la combinación de requisitos de los componentes individuales con aquellos para un sistema completo de seguridad. Se debe tener en cuenta la interacción de los elementos del sistema.

#### **1.4 DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN**

Los dispositivos para el alivio de presión se diseñan con el propósito de proteger los equipos, con presiones de operación superiores a 15 Psig, durante situaciones de sobrepresión provocadas por problemas en la operación o emergencias. En general, estos dispositivos actúan por la presión estática interna y están diseñados para abrir una vez se alcanza cierta presión, con el fin de despresurizar el equipo protegido.

Se debe tener presente que no todas las causas operacionales que pueden provocar sobrepresión ocurren simultáneamente, por lo que los dispositivos de despresurización se dimensionan para la situación más grave que será aquella que requerirá una mayor área para el alivio del fluido que ocasiona la sobrepresión.

La sobrepresión provocada por el fuego, es susceptible de presentarse en plantas donde se manipulan líquidos o gases inflamables. Los recipientes deben estar protegidos con los dispositivos de alivio apropiados que permitan aliviar la sobrepresión generada por el ingreso de calor, no obstante este mecanismo no protegerá el equipo de quemarse por la acción directa del fuego, es aquí donde el sistema Contra Incendios, con el que deben contar todas las plantas químicas, contribuirá a aminorar el ingreso de calor al recipiente reduciendo los posibles daños.

Antes de proceder al dimensionamiento de cualquier dispositivo de seguridad, se debe primero definir cuál es la emergencia dimensionante, o situación operativa anormal que requerirá el mayor caudal de alivio.

### **1.5 TIPOS DE EMERGENCIAS**

Existen varios tipos de emergencias los cuales deben ser estudiados antes de abordar cualquier clase de intento de dimensionamiento de una válvula de seguridad. Para conocer de dichas emergencia se puede referir al ANEXO A.

### **1.6 VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

Los diferentes tipos de válvulas se describen de mejor manera en el ANEXO B.

### **1.7 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

TIPIEL SA sigue los lineamientos del API RP 520 para el dimensionamiento de estas válvulas que es apropiado para refinerías y fue elaborado por el “*American Petroleum Institute*”.

El tamaño de las válvulas de seguridad se indica por una letra arbitraria que designa el área del orificio disponible para el alivio en pulgadas cuadradas. Dos números adicionales, uno a cada lado de la letra, indican los tamaños nominales, en pulgadas, de las bridas de ingreso y salida de la válvula.

El “Rating” de las bridas de entrada y salida de la válvula dependerá de la presión de alivio y de la contrapresión, respectivamente.

Para establecer el tamaño de una válvula de seguridad, primero, se analiza cuál es la emergencia dimensionante para la cual se espera mayor área de alivio, sin

considerar emergencias simultáneas. Una vez identificada la emergencia dimensionante y definido el flujo a aliviar, se procede al cálculo del área de alivio. Es de resaltar, que si bien tanto el API como el ASME (“*American Society of Mechanical Engineers*”), emplean las mismas letras para designar orificios estándar de las válvulas de seguridad, las áreas no son equivalentes, como se muestra en la Tabla 1, y por lo tanto conviene tener presente si un orificio es designación API o ASME.

ORIFICIO	ÁREA DEL ORIFICIO (Plg. <sup>2</sup> )		ORIFICIO	ÁREA DEL ORIFICIO (Plg. <sup>2</sup> )	
	API	ASME		API	ASME
D	0,110	0,1279	L	2,853	3,317
E	0,196	0,2279	M	3,600	4,186
F	0,307	0,3568	N	4,340	5,047
G	0,503	0,5849	P	6,380	7,417
H	0,785	0,9127	Q	11,050	12,850
J	1,287	1,496	R	16,000	18,600
K	1,838	2,138	T	26,000	28,620

Tabla 1. Áreas de los orificios de las válvulas de seguridad según API y ASME

Las emergencias se pueden dimensionar dividiéndolas en dos grupos: emergencias operacionales o de tipo fuego. Unos ejemplos de la manera de interpretar la sobrepresión, el valor del set y la presión permisible en un sistema se encuentran citados en el ANEXO C.

Dependiendo del servicio y la fase del mismo, así como del tipo de emergencia a atender se desarrollaron una serie de ecuaciones que han sido probadas y aprobadas por el API, ya que son basadas en experiencias y pruebas para su uso en la industria. Dichas ecuaciones se encuentran disponibles en el ANEXO D.

## 1.8 DISCOS DE RUPTURA

Forma parte de los dispositivos de alivio de presión y es usualmente usado en conjunto con válvulas de seguridad. Referirse al Anexo E para estudiar las utilidades y restricciones de este dispositivo.

## **1.9 DISEÑO DE LAS LÍNEAS ASOCIADAS A UN DISPOSITIVO DE ALIVIO DE PRESIÓN**

Las líneas de entrada y salida de una válvula de seguridad influyen también en el funcionamiento de las mismas. Es recomendable seguir las instrucciones en el ANEXO F a la hora de realizar la hidráulica de estas líneas para asegurar un desempeño óptimo del dispositivo de seguridad.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar y validar una herramienta capaz de dimensionar y seleccionar la mejor opción para una válvula de alivio de seguridad para proteger un equipo o sistema ante una situación de emergencia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

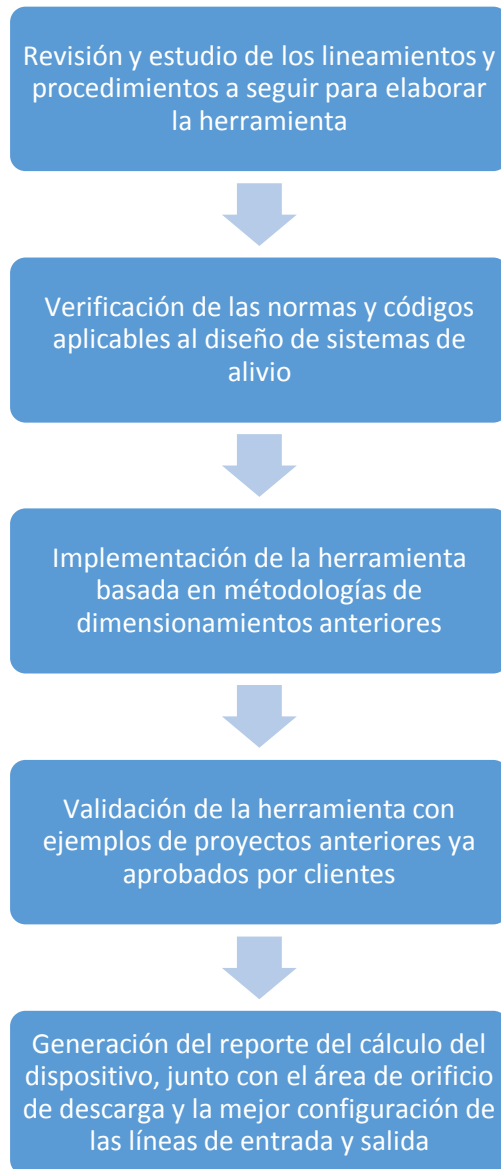
- Estudiar y aprender acerca de estos dispositivos de alivio, su manera de acción, clases, restricciones, etc.
- Evaluar las diferentes emergencias que se pueden generar en una planta, ya sean del tipo operacional o tipo fuego, y encontrar cuál sería la emergencia dimensionante.
- Prever las diferentes restricciones que se deben tener en cuenta tanto en la línea de entrada como en la de salida del dispositivo de alivio y diseñar de manera que se cumplan dichas restricciones.
- Validar y probar la herramienta con ejemplos de válvulas dimensionadas para proyectos anteriores, para verificar su desempeño.
- Generación de un reporte, por medio de una hoja de calidad donde se muestren las condiciones del dimensionamiento y el área de orificio que mejor se ajuste, así como también la configuración de las líneas de entrada y salida.

### **3. ALCANCE**

Este trabajo aplica al grupo de la Dirección de Proceso y extiende su aplicación a Coordinadores e Ingenieros de Proceso. Se tendrá en cuenta para su uso en los proyectos entrantes, como una herramienta para el dimensionamiento de los dispositivos de alivio. Esta herramienta se usará como criterio para el cálculo de estos dispositivos hasta que el programa PSV Plus adquirido por HYSYS sea validado y esté disponible para su implementación.

## 4. METODOLOGÍA

Figura 1. Metodología



#### **4.1 REVISIÓN Y ESTUDIO DE LOS LINEAMIENTOS Y PROCEDIMIENTOS A SEGUIR PARA ELABORAR LA HERRAMIENTA**

En esta etapa se revisó el instructivo estandarizado en la empresa, con el objeto de conocer los lineamientos y procedimientos que deben seguirse para la elaboración y presentación de los documentos que se deben generar a la hora de suministrar un reporte de cálculo de dimensionamiento de algún equipo, cumpliendo con los requerimientos del Departamento de Calidad, Instrumentación y Proceso, que son las Direcciones involucradas por esta herramienta.

#### **4.2 VERIFICACIÓN DE LAS NORMAS Y CÓDIGOS APLICABLES AL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALIVIO**

Para poder realizar el estudio de estos sistemas fue necesario leer unos estándares por medio de los cuales se rigen la mayoría de empresas dedicadas al sector petrolero y de refinería, estos aplicables son los API, que además son los usados por TIPIEL SA como base para aplicar los criterios de dimensionamiento de los diferentes sistemas o equipos.

Tabla 2. En este caso los estándares que se leyeron y aplicaron fueron:

API RP 520	“Sizing, Selection, and Installation of Pressure – Relieving Devices in Refineries”. Part I 6 <sup>a</sup> ed., March 1993. Part II 4 <sup>a</sup> ed. Dec. 1994.
API RP 521	“Guide for Pressure - Relieving and Depressuring Systems”. 3 <sup>a</sup> ed., Nov. 1990.
API RP 526	“Flanged Steel Pressure Relief Valves”. 4 <sup>a</sup> ed., Jun. 1995.

Los dos primeros fueron usados para el dimensionamiento de los dispositivos y para el estudio de las emergencias e instalación de entrada y salida, respectivamente.

La tercera es la guía base para la selección de la válvula según el tamaño del área de descarga.

#### **4.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA BASADA EN MÉTODOLOGÍAS DE DIMENSIONAMIENTOS ANTERIORES**

En este punto se hizo la validación de varios programas de proveedor y de hojas de cálculos desarrolladas anteriormente, como guía para el desarrollo de la herramienta final.

Se observaron los errores que cada herramienta tenía comparados con resultados que eran reales, y de qué manera se podría mejorar este aspecto, dentro de la verificación que se realizó, se encontró que el programa de proveedor PRV<sup>2</sup>SIZE era el software que mejores resultados arrojaba en el dimensionamiento de las válvulas de alivio para todos los tipos de emergencia, y sin importar el servicio en cuestión, problema que tuvieron varias hojas de cálculo, ya que si se trataba de un servicio en doble fase el porcentaje de error era elevado, así como cuando se dimensionaban para el caso fuego.

#### **4.4 VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA CON EJEMPLOS DE PROYECTOS ANTERIORES YA APROBADOS POR CLIENTES**

Esta es la etapa más importante del Proyecto, y fue donde se hizo la verificación y validación final de la herramienta con resultados de Proyectos anteriores, para generar un reporte de las posibles desviaciones en los cálculos y evaluando la herramienta para varios casos, en diferentes condiciones, con diferentes servicios y algunas emergencias, las más usadas.

#### **4.5 GENERACIÓN DEL REPORTE DEL CÁLCULO DEL DISPOSITIVO, JUNTO CON EL ÁREA DE ORIFICIO DE DESCARGA Y LA MEJOR CONFIGURACIÓN DE LAS LÍNEAS DE ENTRADA Y SALIDA**

Para que sea una herramienta útil, debe generar un reporte como lo requiere el cliente, y que además cumpla con los lineamientos de Calidad y de las demás disciplinas para entregar los datos necesarios para la simulación y generación de orden de compra hacia el proveedor.

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1 LINEAMIENTOS Y PROCEDIMIENTOS**

Para lograr entender de qué manera funcionan los diferentes procedimientos en la empresa fue necesario la lectura de documentos de calidad y antiguos reportes de hojas de cálculo para dimensionar equipos y cumplir con todos los estándares tanto de la empresa como del cliente.

### **5.2 MANUAL PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE ALIVIO**

Para abordar este tema y entender cómo funcionan este tipo de válvulas fue necesario la lectura de tantos manuales de la empresa desarrollados para tal fin como también los estándares internacionales publicados por el API, que no sólo muestra paso a paso el dimensionamiento de una válvula de seguridad sino que además enseña los diferentes tipos de emergencias que se podrían presentar en una planta así como la configuración general y partes de dichas válvulas.

### **5.3 ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO**

Partiendo de diferentes ejemplos expuestos tanto en el manual de dimensionamiento como en los estándares internacionales se empezó a desarrollar la herramienta de cálculo, estudiando cada caso en particular, dependiendo del tipo de emergencia y del servicio en cuestión para cada uno de los casos estudiados.

Para cada caso se analizaba las variables de entrada, constantes y resultados que debería entregar finalmente la hoja de cálculo. Se especificó el significado de cada variable y las unidades en las que se debe dar para una mayor comprensión del

usuario, además en cada hoja se implementó las diferentes gráficas y tablas para un total desarrollo del dimensionamiento.

Para cada caso general del cual se desprenden diferentes emergencias se creó una hoja individual, por ejemplo los casos más relevantes son:

- Gas y Vapor
- Vapor de Agua (*Steam*)
- Líquido y Expansión Térmica
- Dos fases
- Caso Fuego

En la herramienta se podrán encontrar estas 5 hojas para ser usadas según el caso a estudiar, cada una cuenta con comentarios y códigos de colores para saber los *Inputs*, constantes y entrega de resultados. En el ANEXO G se podrá ver la interfaz de una de las hojas de cálculo de la herramienta.

## **5.4 VALIDACIÓN**

Luego de desarrollada la herramienta se entró a la parte más importante del proyecto: probar la hoja de cálculo con diferentes dimensionamientos. Empezando con ejemplos sencillos de los apéndices y siguiendo con pruebas a dimensionamientos existentes en diferentes proyectos que ya fueron construidos y por lo cual se podría confiar en estos resultados.

Se realizaron diferentes pruebas y ajustes de la misma herramienta en esta etapa, para cada caso se investigó cuál podría ser la emergencia y de qué manera mitigarla según las capas de un plan de seguridad hasta llegar a las válvulas de alivio de presión.

En la Tabla 2 se mostrará los diferentes casos que se evaluaron y la comparación con el programa que ya se ha dicho era el más confiable llamado PSV Plus desarrollado por ASPEN, y también con otra herramienta que se usó hace un tiempo antes de adquirir la licencia de dicho programa.

Se encontraron resultados satisfactorios con porcentajes de error en su mayoría bajos y que no tendrán una gran repercusión a la hora de escoger el mejor tipo de válvula para determinado caso.

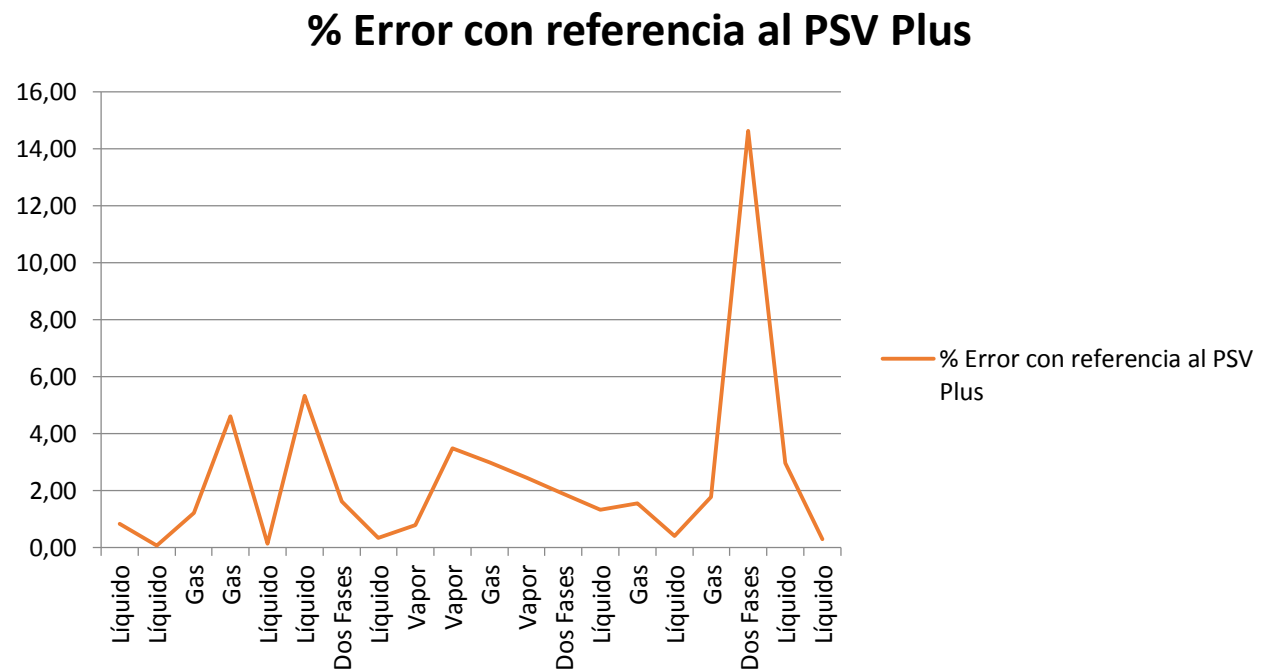
	Fase	Tipo de emergencia	Área Calculada (plg2)			Área escogida (plg2)	Letra según API	% Error con referencia al PSV Plus
			PSV Plus	Hoja Technip	Herramienta Desarrollada			
<b>Proyecto 1244_76 - Estación de San Fernando (Chichimene)</b>								
PSV-0301	Líquido	Salida Bloqueada	2,645	2,647	2,623	2,853	L	0,832%
PSV-0474	Líquido	Salida Bloqueada	1,676	1,691	1,675	1,838	K	0,060%
<b>Proyecto 1244_202 - Plan de choque (Chichimene)</b>								
PSV-74217	Gas	Salida Bloqueada	1,900	1,878	1,877	2,853	L	1,211%
PSV-74317	Gas	Fuego	0,065	0,071	0,062	0,110	D	4,615%
PSV-74274	Líquido	Salida Bloqueada	3,049	3,273	3,045	3,600	M	0,131%
PSV-74272	Líquido	Expansión Térmica	0,075	0,077	0,071	0,110	D	5,333%
PSV-74211	Dos Fases	Salida Bloqueada	0,926	0,935	0,911	1,287	J	1,620%
PSV-74657	Líquido	Flujo mínimo de Bomba	0,305	0,311	0,304	0,307	F	0,328%
<b>Proyecto 1244_73 - Ciclos combinados Termoocoa y Termosuria (Chichimene)</b>								
PSV-8102	Vapor	Salida Bloqueada	4,248	4,198	4,215	4,340	N	0,777%
PSV-8104	Vapor	Salida Bloqueada	0,458	0,511	0,442	0,503	G	3,493%
PSV-8105	Gas	Falla de la Válvula de Control	0,671	0,758	0,651	0,785	H	2,981%
PSV-8106	Vapor	Falla de la Válvula de Control	0,816	0,898	0,796	1,287	J	2,451%
<b>Proyecto 1244_62 - Ampliación estación Isla VI, Isla IV y Auxiliar</b>								
PSV-71001	Dos Fases	Salida Bloqueada	7,061	7,512	6,927	11,05	Q	1,898%
PSV-63018	Líquido	Salida Bloqueada	0,302	0,295	0,306	0,307	F	1,325%
PSV-55035	Gas	Fuego	0,578	0,575	0,569	0,785	H	1,557%
PSV-47052	Líquido	Fuego	4,939	4,937	4,919	6,380	P	0,405%
PSV-71056	Gas	Salida Bloqueada	4,931	4,758	4,843	6,380	P	1,785%
PSV-74037	Dos Fases	Salida Bloqueada	0,041	0,032	0,047	0,110	D	14,634%
PSV-75111	Líquido	Expansión Térmica	4,876	4,713	5,021	6,380	P	2,974%
PSV-74037	Líquido	Falla de la Válvula de Control	4,882	4,749	4,868	6,380	P	0,287%

Tabla 3. Pruebas de dimensionamiento de varios proyectos y comparación con otras herramientas

Como se puede observar en la Tabla 2, se realizó la prueba para diferentes casos, tipos de emergencia y fase del servicio. El área calculada, que en conclusión es el dato esperado al final del dimensionamiento, se muestra para dos tipos de

herramientas: PSV Plus y Hoja Technip, esto junto con el resultado del área según la herramienta desarrollada.

Figura 2. **Análisis gráfico del porcentaje de error obtenido con la herramienta respecto al programa especializado PSV Plus**



**Fuente:** Autor.

Con la Figura 1 se puede inferir que los resultados obtenidos con la herramienta desarrollada son bastante apropiados por su bajo porcentaje de error respecto al software PSV Plus, que es el más confiable, y pueden ser usados a futuro como un dimensionamiento acertado de alguna válvula requerida. Sin embargo, el mayor porcentaje de error se reportó cuando se trabajó con un servicio en Dos Fases, ya que se hace una aproximación que es un poco conservativa pero aceptable hasta el momento según la validación realizada.

## 5.5 REPORTE

Finalmente una vez obtenido el resultado del área necesaria y escogida el área disponible según los valores predeterminados ya existentes en la mayoría de los proveedores, se debe generar un reporte de estos resultados juntos con una memoria de cálculo que debe llevar tanto el logotipo de la empresa como la del cliente, para asegurar la trazabilidad del cálculo durante todo el proyecto.

Dicho reporte no sólo será usado para este fin sino también para tener una manera globalizada de suministrar esta información a los diferentes Departamentos y Direcciones para asegurar la uniformidad y calidad de los resultados por parte de toda la empresa para entregar un proyecto que sólo deje una impresión: Excelencia.

En el ANEXO H se mostrará cómo quedará el reporte que se entregará al proyecto y demás entes ya nombrados, y su aprobación según el coordinador y jefe de dicho trabajo.

En este reporte se deberán especificar diferentes aspectos generales como el proyecto, el cliente, la unidad, el “*Tag*” de la válvula y el código del documento. Adicional a esto se deben ya poner por escrito los aspectos técnicos tenidos en cuenta a la hora del dimensionamiento y los resultados encontrados según los requerimientos encontrados.

## 6. CONCLUSIONES

Las válvulas de seguridad forman parte fundamental del diseño de una planta, y que su dimensionamiento y selección de las mismas acarrea una gran responsabilidad ya que estos equipos hacen parte de todo un plan de emergencia ante cualquier contrariedad que pueda surgir en el funcionamiento de una planta. Debido a las altas presiones y temperaturas que muchas veces se pueden presentar en diferentes procesos es de vital importancia contar con un dimensionamiento lo más acertado posible.

El desarrollo de esta herramienta se llevó a cabo con el estudio de diferentes procesos y equipos que eran ajenos a mi conocimiento hasta este punto, por dicho motivo se logró un total entendimiento del funcionamiento de los equipos en cuestión y por consiguiente una buena herramienta para todos los ingenieros de Proceso en proyectos futuros.

Respecto a la validación y verificación de la misma se contó con el apoyo de varios ingenieros que dieron su visto bueno respecto a los resultados obtenidos y parcial uso de dicha hoja de cálculo.

## **7. RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso de la herramienta pero con un buen entendimiento del proceso y de la emergencia por parte del ingeniero a cargo del dimensionamiento, para que pueda escoger la mejor opción respecto no sólo a las condiciones suministradas a la hoja de cálculo sino también a la escogencia del mejor tipo válvula dependiendo de los requerimientos del proceso.

Cuando se habla de escoger la válvula no se hace referencia al área predeterminada según los códigos, sino a su tipo de operación, ventajas y desventajas, materiales de construcción y demás aspectos que se deben tener en cuenta dependiendo si se trata de una válvula convencional, balanceada o piloteada.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] API RP 520. Sizing, Selection, and installation of Pressure-Relieving Devices in refineries. Part I – Sizing and selection. Ninth Edition, July 2014.

[2] API RP 520. Sizing, Selection, and installation of Pressure-Relieving Devices in refineries. Part II – Installation. Fifth Edition, August 2003.

[3] API RP 521. Pressure-relieving and Depressuring Systems. Fifth Edition, January 2007.

[4] API RP 526. Flanged Steel Pressure-relief Valves. Sixth Edition, April 2009.

[5] ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section VIII – Rules for Construction Pressure Vessel. Division I.

[6] TIPIEL SA. Manual de las Generalidades de los Sistema de Alivio. MU 2005. Rev. 0, Septiembre 2006.

## ANEXOS

### ANEXO A. Tipos de Emergencias

#### EMERGENCIAS INDIVIDUALES

##### **Bloqueo en la salida de recipientes o circuitos**

Cuando las salidas de un recipiente están bloqueadas, la capacidad del dispositivo de alivio debe ser al menos tan grande como la capacidad de las fuentes de presión.

La cantidad de fluido a aliviar corresponde al flujo total calculado a la temperatura y composición asociadas a la presión de disparo más la sobrepresión, en lugar de a las condiciones normales de operación. De manera general y teniendo en cuenta las situaciones más propensas a ocurrir, se pueden ver algunos casos de la cantidad de fluido a aliviar así:

1. En el caso de bloqueo de un circuito aguas debajo de un intercambiador de calor, se debe adicionar, al caudal de la fuente de presión, el caudal debido al alivio por expansión térmica.
2. Las válvulas de seguridad que protegen bombas alternativas o rotativas deben estar en condiciones de aliviar todo el caudal que maneja la bomba.
3. Las líneas o equipos a la descarga de las bombas centrífugas no requieren protección alguna, si han sido dimensionados para la presión de "Shut off" de la bomba, de lo contrario se debe instalar una válvula de seguridad capaz de descargar el caudal correspondiente a la presión de diseño del circuito más la acumulación.
4. En los compresores alternativos el caudal a descargar es generalmente el caudal normal del equipo.
5. Para los compresores centrífugos el caudal es el correspondiente al leído en la curva de operación a una presión de descarga correspondiente a la de disparo de la válvula de seguridad.

6. En general, para todos los tipos de calderas se requiere una mínima capacidad de alivio que no sea inferior a la capacidad de diseño máxima de generación de vapor.
7. En turbinas a contrapresión, las válvulas de seguridad ubicadas en la descarga se deben dimensionar para el caudal de vapor necesario para generar la potencia normal del equipo.
8. Cuando permanece bloqueado el lado proceso en un rehervidor, el caudal de descarga que protege el lado proceso es igual al caudal de vapor obtenido en el rehervidor, calculado como la relación de carga térmica de diseño del rehervidor y el calor latente de vaporización del fluido de proceso.
9. En el caso de la cima de las columnas, se debe prever la instalación de una válvula de seguridad con capacidad de aliviar la totalidad del vapor de cima en condiciones normales de operación.
10. Cuando se presenta obstrucción debida al daño de internos o taponamiento por catalizadores, formación de coque, etc., la válvula de seguridad se dimensiona para la totalidad del caudal manejado.

### **Falla de un equipo por vacío**

Los equipos que en condiciones normales de operación no operan bajo condiciones de vacío, pueden llegar a verse expuestos a esta contingencia por varias situaciones como falla en la instrumentación.

La falla por vacío se evita diseñando los equipos para resistir el máximo vacío al que podrían llegar a exponerse.

En algunas situaciones se puede proteger por vacío instalando dispositivos de alivio por vacío (“*Vacuum relief devices*”) o sistemas de represurización; sin embargo esta práctica se hace por razones de proceso no se considera una alternativa aceptable al diseño por vacío.

### **Falla en el sistema de enfriamiento o ausencia de reflujo**

Cuando se tiene un sistema a condensación total, el caudal de alivio por falla en el enfriamiento corresponde al flujo total de vapor calculado a la temperatura y composición asociadas a la presión de disparo más la sobrepresión.

En sistemas de condensación parcial, el requerimiento de alivio se calcula como la diferencia entre el flujo de vapor que entra y el que sale a las condiciones de alivio, o lo que es lo mismo, como el vapor que corresponde al líquido que no se condensa.

Cuando se presenta falla en el ventilador de un aerofriador, se da crédito a un 20 – 30% de condensación por convección natural y por lo tanto se dimensiona la válvula de seguridad para un caudal de alivio equivalente al 80 – 90% del caudal de vapor total.

El cierre de la persiana (“*Louver*”) de un aerofriador, que puede presentarse por fallas en el sistema de control o por fallas mecánicas, ocasiona falla total del sistema de enfriamiento y el cálculo del caudal de alivio se hace según se trate de un servicio de condensación total o parcial.

La ausencia de reflujo por falla de la bomba de reflujo o bloqueo por cierre de la válvula ocasiona inicialmente inundación del condensador y luego pérdida de la capacidad de enfriamiento, el caudal de alivio se calcula según se trate de una condensación parcial o total.

### **Expansión térmica**

Las líneas o los equipos que en un momento dado pueden bloquearse mientras permanecen llenos de líquido y reciben calor de alguna fuente externa, se pueden sobrepresurizar y por lo tanto requieren de un dispositivo de alivio de presión.

La fuente de calor puede ser la radiación solar o de un equipo contiguo, el trazado eléctrico o de vapor, un serpentín, etc. En el caso de un intercambiador de calor, esta situación se presenta cuando se bloquea el fluido del lado frío y continúa pasando el fluido del lado caliente.

No es sencillo calcular la capacidad de alivio de una válvula de seguridad por expansión térmica, pero considerando los bajos volúmenes que normalmente se manejan, el tamaño de válvula más empleado es  $\frac{3}{4}$ " x 1".

La Figura 2 da criterios que ayudan a definir cuándo instalar válvulas por expansión térmica en tuberías, conocidos los datos de diámetro de tubería y distancia entre las válvulas de interbloqueo.

La presión de disparo de las válvulas dimensionadas por expansión térmica debe ser la más alta posible para evitar alivios innecesarios.

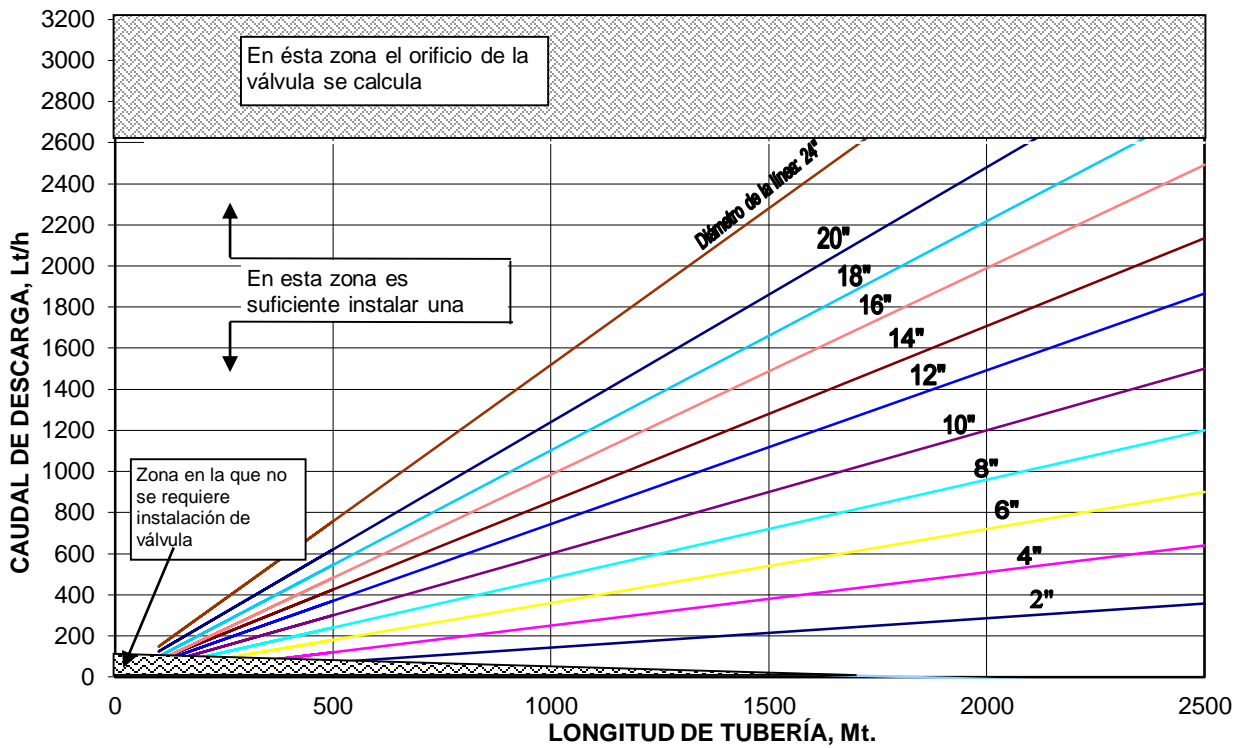


Figura 3. Criterio para la instalación de válvulas por alivio térmico en tuberías

### Ruptura de tubo en los intercambiadores

Los choques térmicos, vibraciones, o corrosión, entre otros pueden generar la ruptura de los tubos de los intercambiadores.

Se debe prever protección en intercambiadores de Doble Tubo, cuando la diferencia de presiones de diseño entre los dos lados sea superior a 70 Kg/cm<sup>2</sup> y en los intercambiadores de Tubos y Coraza cuando la presión de diseño del lado de baja presión sea menor que los 2/3 de la presión de diseño del lado de alta presión.

Para determinar el caudal a aliviar, se emplea el área de cada extremidad del tubo roto.

### **Bloqueo de un compresor centrífugo**

Un compresor centrífugo se puede bloquear por falla de los servicios auxiliares o por cierre de alguna válvula de interceptación, lo que ocasiona apertura de la válvula “*Anti-surge*” (“*By-pass*” del compresor) y en consecuencia presurización del recipiente de la aspiración o inter etapas con el gas contenido en el separador de la descarga.

La válvula de seguridad que va instalada en el recipiente de la aspiración, se calcula para el flujo que puede pasar a través de la válvula “*Anti-surge*” completamente abierta con el diferencial de presión existente al momento de disparo de la válvula.

### **Bloqueo de válvulas de control en posición abierta (“*Blow-by*”)**

Cuando se transfiere un líquido desde un recipiente de alta presión a otro de baja presión y se bloquea la válvula de control en posición abierta, primero se presentará la pérdida de nivel en el recipiente aguas arriba y posteriormente se dará el paso de gas o vapor a través de la válvula. La cantidad de gas que no puede ser manipulado por el sistema aguas debajo de la válvula de control (Por ejemplo por problema de “*Rating*”), deberá ser aliviado por la válvula de seguridad.

El caudal que fluye a través de la válvula completamente abierta se calcula con el  $C_v$  instalado de la válvula (si no se conoce, se asume el 200% del máximo  $C_v$  calculado), con una presión aguas arriba equivalente a la máxima operativa y una presión aguas abajo dada por la presión de disparo de la válvula más la sobrepresión.

### **EMERGENCIAS GENERALES**

La mayoría de los efectos generados por las emergencias generales ya han sido tratados en otras emergencias más específicas y se remite a éstas para el cálculo del caudal a aliviar.

### **Falla de energía eléctrica**

La falla de energía eléctrica o equipo mecánico que prevé enfriamiento o condensación en corrientes de proceso puede causar sobrepresión en recipientes de proceso.

Los equipos que se pueden ver afectados son los siguientes:

- Bombas para la circulación de agua de enfriamiento, agua de alimentación a calderas, “*Quench*” o reflujo.
- Ventiladores en los “*Air Coolers*”, en las torres de enfriamiento, en los hornos o generadores de vapor en los cuales el ingreso de aire para la combustión es con ventiladores eléctricos a tiro forzado.
- Compresores en unidades de aire para instrumentos, procesos de vapor, vacío, refrigeración, etc.
- Instrumentación.
- Válvulas motorizadas.

### **Falla de agua de enfriamiento o de fluido refrigerante**

Los equipos afectados por esta emergencia son:

- Condensadores en servicio proceso o servicios auxiliares.
- Enfriadores de fluidos de proceso, aceites lubricantes, aceite de sello.
- Chaquetas de enfriamiento en equipos rotatorios o reciprocantes.

### **Falla de aire para instrumentos**

Se afectan los transmisores, controladores, válvulas reguladoras, alarmas y sistemas de “*Shutdown*”. Se debe verificar la posición de falla de las válvulas de control para garantizar que en caso de falla de aire éstas irán a la posición más segura (“*Failed Close*”, “*Failed Open*” o “*Failed Locked*”).

### **Falla en el suministro de vapor**

Esta falla afecta la operación de turbinas, compresores, rehervidores y eductores entre otros.

### **Falla en el suministro de gas inerte**

Afecta el funcionamiento de los sellos, “*Blanketing*” de tanques, reactores catalíticos y purga para instrumentos y equipos.

### **EMERGENCIA POR FUEGO**

Los equipos que operan con fluidos inflamables tienen una probabilidad de ser expuestos a la emergencia por fuego lo que implica sobrepresurización por la vaporización del líquido que contiene.

Para definir el caudal a aliviar cuando se presenta emergencia por fuego, se debe calcular el área bañada que estará expuesta al fuego y luego sí dimensionar la válvula. Según API RP 520, se considera prudente el cálculo de esta superficie hasta una altura de 8 metros del terreno o de cualquier piso donde se pueda generar el incendio.

Durante la vaporización de un líquido por emergencia fuego, las propiedades, calor latente de vaporización, relación de capacidades caloríficas y peso molecular cambian considerablemente por lo que se recomienda seleccionar la condición más grave entre la situación inicial y final del alivio para el dimensionamiento de la válvula de seguridad.

De no ser posible el cálculo, para el calor de vaporización se puede asumir 300 BTU/lb y para el peso molecular un valor de 90 a 110 para unidades de destilación atmosférica y al vacío o sistemas similares a presiones de diseño relativamente

bajas, y peso molecular de 50 para desulfuración de kerosene/gasóleo o situaciones similares a presiones de diseño altas.

Para el dimensionamiento de la válvula de seguridad se puede asumir una temperatura de equilibrio de 400 °C.

## **ANEXO B. Tipos de válvulas de seguridad**

### **Válvulas accionadas por resorte**

Las válvulas de seguridad accionadas por resorte pueden ser de tres tipos, a saber:

#### **Válvulas de Alivio (“*Relief Valve*”)**

Este tipo de válvulas se emplean en servicio de fluidos incompresibles. La válvula posee un resorte que es accionado por la presión estática aguas arriba de la válvula. Una vez se alcanza la presión máxima permisible o presión de disparo, se inicia la apertura de la válvula en forma proporcional al incremento de la presión. Se dimensiona para permitir entre el 10 y 25% de sobrepresión de acuerdo con la emergencia.

#### **Válvulas de Seguridad (“*Safety Valve*”)**

Accionadas por la presión estática aguas arriba de la válvula; poseen un sistema de apertura rápida y total por acción de un resorte. Estas válvulas se emplean con fluidos compresibles.

#### **Válvulas de Alivio Seguro (“*Safety Relief Valve*”)**

Dispositivo automático de descarga que se comporta como válvula de alivio al emplearse con líquidos y como válvula de seguridad cuando el fluido es gas o vapor.

Según la funcionalidad las válvulas de seguridad accionadas por resorte se clasifican en Convencionales y Balanceadas.

#### **Convencionales**

Las válvulas de seguridad convencionales se emplean cuando el fluido que se descarga es enviado a la atmósfera o a un cabezal a baja presión; debido a la construcción misma de la válvula (Cubierta metálica o capucha con venteo hacia el

lado de descarga de la válvula), su operación se ve afectada por fluctuaciones en la presión del cabezal aguas debajo de la válvula.

El empleo de estas válvulas se recomienda sólo cuando el porcentaje de la relación entre la contrapresión ( $P_B$ ) y la presión de disparo ( $P_S$ ) es inferior a 10%, es decir:

$$\frac{P_B}{P_S} \times 100 < 10\% \quad (1)$$

### Balanceadas

Las válvulas balanceadas están construidas de tal forma que reducen el efecto de la contrapresión en la presión de disparo, y de la contrapresión generada (“*Built-up Back Pressure*”) en el desempeño de la válvula misma, lo que permite su empleo en cabezales de descarga a alta presión ya que la contrapresión no tiene ninguna influencia sobre el valor de la presión de disparo. Las hay tipo fuelle (“*Bellow*”) o tipo pistón.

Se recomienda su instalación cuando la contrapresión impuesta no es constante, la contrapresión generada excede el 10% de la presión de disparo o el 21% para el caso fuego, o cuando el servicio es corrosivo y puede presentar obstrucción.

Las limitaciones de contrapresión permiten trabajar con estas válvulas hasta un valor de:

$$\frac{P_B}{P_S} \times 100 < 30\% \quad (2)$$

### Válvulas piloteadas

Las válvulas piloteadas (“*Pilot Operated Valve*”) son controladas por una válvula de alivio auxiliar. Cuando se alcanza la presión de alivio en el equipo protegido, la válvula piloto contribuye con una presión adicional que ayuda a abrir completamente la válvula principal. La ventaja de este tipo de válvula es la apertura total de la misma lo que permite contrarrestar el “*Chattering*”.

Se recomienda para sistemas a baja presión.

Operan sin dificultades en sistemas donde la relación:

$$\frac{P_B}{P_S} \times 100 < 50\% \quad (3)$$

No se recomienda su empleo en servicios sucios ya que se puede obstruir la válvula piloto ocasionando la apertura automática de la válvula. La máxima temperatura de operación es 230 °C como medida de protección de los "O-Rings" del sello del pistón.

Para diámetros pequeños, el costo de una válvula piloteada es mucho mayor que el de una balanceada o convencional.

## ANEXO C. Ejemplos para calcular la Presión de alivio

Ejemplo del cálculo de la presión de alivio en una emergencia operacional.

Característica	VALOR
<b>Presión de disparo de la válvula menor que la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	110
Presión de disparo de la válvula, psig.	90
Sobrepresión disponible, psi.	20
Presión de alivio, P <sub>1</sub> , psia.	124,7
<b>Presión de disparo de la válvula igual a la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	110
Presión de disparo de la válvula, psig.	100
Sobrepresión disponible, psi.	10
Presión de alivio, P <sub>1</sub> , psia.	124,7
Característica	VALOR
<b>Primera válvula</b>	
<b>Presión de disparo de la válvula igual a la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	116
Presión de disparo de la válvula, psig.	100
Sobrepresión disponible, psi.	16
Presión de alivio, P <sub>1</sub> , psia.	130,7
<b>Válvula adicional</b>	
<b>Presión de disparo de la válvula igual al 105% de la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	116
Presión de disparo de la válvula, psig.	105
Sobrepresión disponible, psi.	11
Presión de alivio, P <sub>1</sub> , psia.	130,7

Ejemplo del cálculo de la presión de alivio en una emergencia caso Fuego.

<b>Característica</b>	<b>VALOR</b>
<b>Presión de disparo de la válvula menor que la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	121
Presión de disparo de la válvula, psig.	90
Sobrepresión disponible, psi.	31
Presión de alivio, $P_1$ , psia.	135,7
<b>Presión de disparo de la válvula igual a la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	121
Presión de disparo de la válvula, psig.	100
Sobrepresión disponible, psi.	21
Presión de alivio, $P_1$ , psia.	135,7

<b>Característica</b>	<b>VALOR</b>
<b>Primera Válvula</b>	
<b>Presión de disparo de la válvula menor que la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	121
Presión de disparo de la válvula, psig.	100
Sobrepresión disponible, psi.	21
Presión de alivio, $P_1$ , psia.	135,7
<b>Válvula Adicional</b>	
<b>Presión de disparo de la válvula igual a la MAWP</b>	
MAWP del recipiente protegido, psig.	100
Presión acumulada máxima, psig.	121
Presión de disparo de la válvula, psig.	105
Sobrepresión disponible, psi.	16
Presión de alivio, $P_1$ , psia.	135,7

## **ANEXO D. Ecuaciones de dimensionamiento de las válvulas PSV**

### **Emergencias Operacionales**

Para las emergencias operacionales en las cuales el equipo va protegido con una válvula de seguridad se asume una sobrepresión de máximo el 110% de la MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*). La presión de disparo no debe exceder la MAWP.

Si se instalan válvulas múltiples para atender una misma emergencia, la sobrepresión de éstas se limita al 116% de la MAWP. La presión de disparo de la primera válvula que se espera entre en operación, no debe exceder la MAWP, la presión de disparo de las válvulas adicionales no debe exceder el 105% de la MAWP. La válvula de menor capacidad será aquella con la menor presión de disparo.

En algunas ocasiones, cuando se tiene emergencia operacional, se instala una válvula suplementaria que incrementa la capacidad de alivio en el caso de que se presente una emergencia adicional como el fuego. La presión de disparo de esta válvula, no debe exceder el 110% de la presión de la MAWP y su sobrepresión es del 121%.

### **Emergencia por Fuego**

Si el equipo o grupo de equipos se protege con una sola válvula de seguridad, la presión de disparo no debe exceder la MAWP y la sobrepresión se limita al 121% de la MAWP.

Cuando se instalan válvulas múltiples, la presión de disparo de la primera válvula no debe exceder la MAWP y para la última válvula que abrirá, ésta no debe superar el 105% de la MAWP. La sobrepresión de las válvulas, se limita al 121% de la MAWP del equipo protegido.

Dimensionamiento para alivio de gas o vapor, excluido el vapor de agua

El comportamiento del alivio de un gas o vapor depende de si se está bajo condiciones de flujo crítico.

Cuando un gas se expande a través de una boquilla, la máxima velocidad que puede alcanzar es la velocidad del sonido en el medio, a esta velocidad le corresponde un caudal y una presión de flujo crítico. La presión en la garganta no puede descender más allá de la presión crítica aún si la presión aguas abajo del sistema es mucho más baja.

Si la presión aguas debajo de la garganta es menor o igual a la presión de flujo crítico, se tendrá flujo crítico:

$$P_{CF} = P_1 \left[ \frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (4)$$

Así pues, para flujo crítico:

$$A = \frac{W}{CK_d P_1 K_b} \sqrt{\frac{TZ}{M}} \quad (5)$$

En condiciones de flujo subcrítico, las válvulas convencionales que tienen el disparo del resorte ajustado para compensar la “*Superimposed Back Pressure*” y las válvulas piloteadas se dimensionan con la ecuación 6. Las válvulas balanceadas se calculan con la ecuación 5, pero en éste caso el valor de  $K_b$  se debe consultar al proveedor de la válvula.

$$A = \frac{W}{735 F_2 K_d} \sqrt{\frac{ZT}{MP_1(P_1 - P_2)}} \quad (6)$$

Donde,

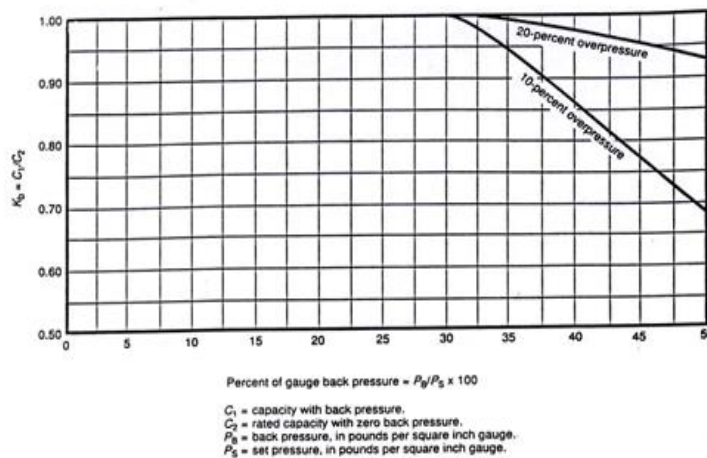
$P_{CF}$  Presión de flujo crítico en la garganta, Psia.

- P<sub>1</sub> Presión de alivio aguas arriba. Presión de disparo + Sobrepresión permitida + Presión atmosférica, Psia.
- P<sub>2</sub> Contrapresión. Contrapresión Impuesta + Contrapresión Generada, Psia.
- k Relación de capacidades caloríficas para el gas ideal. C<sub>p</sub>/C<sub>v</sub>.
- A Área de descarga efectiva requerida, in<sup>2</sup>
- W Flujo requerido a través de la válvula, lb/hr
- C Coeficiente que es función de la relación de capacidades caloríficas a condiciones estándar.

$$C = 520 \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (7)$$

- K<sub>d</sub> Coeficiente de descarga, se asume 0,975, no obstante este valor puede variar de acuerdo con el fabricante de la válvula.
- K<sub>b</sub> Factor que corrige la capacidad por efecto de la contrapresión, este término aplica únicamente a válvulas balanceadas tipo fuelle. Su valor se obtiene del fabricante o de la Figura 3.

**Figura 4. Factor de corrección por contrapresión, K<sub>b</sub>, para válvulas de seguridad balanceadas tipo fuelle en servicio de gas o vapor.**



**Fuente:** API RP 520. *Sizing, Selection, and installation of Pressure-Relieving Devices in refineries. Part I – Sizing and selection. Ninth Edition, July 2014.*

$F_2$  Coeficiente de flujo subcrítico

$r$  Relación de la contrapresión a la presión de alivio agua arriba,  $P_2/P_1$ .

$Z$  Factor de compresibilidad evaluado a las condiciones de alivio en el ingreso de la válvula.

$T$  Temperatura de alivio, °R.

$M$  Peso molecular del fluido

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{k}{k-1}\right) r^{\left(\frac{2}{k}\right)} \left[\frac{1-r^{\frac{(k-1)}{k}}}{1-r}\right]} \quad (8)$$

### Dimensionamiento para el alivio del vapor de agua

Aplica la siguiente ecuación:

$$A = \frac{W}{51,5P_1 K_d K_N K_{SH}} \quad (9)$$

$K_N$  Factor de corrección de acuerdo con la ecuación de Napier

Si  $P_1 \leq 1515$  Psia entonces  $K_N = 1$

Si  $1515 \text{ Psia} < P_1 \leq 3215 \text{ Psia}$  entonces  $K_N = \frac{(0,1906P_1 - 1000)}{(0,2292P_1 - 1061)}$

$K_{SH}$  Factor de corrección para el vapor sobrecalentado. Se obtiene de la Tabla

3. Para el vapor saturado a cualquier presión:  $K_{SH} = 1,0$

$P_{SET}$ (Psig)	TEMPERATURA, °F									
	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
15	1,00	0,98	0,93	0,88	0,84	0,80	0,77	0,74	0,72	0,70
20	1,00	0,98	0,93	0,88	0,84	0,80	0,77	0,74	0,72	0,70
40	1,00	0,99	0,93	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74	0,72	0,70
60	1,00	0,99	0,93	0,88	0,84	0,81	0,77	0,75	0,72	0,70
80	1,00	0,99	0,93	0,88	0,84	0,81	0,77	0,75	0,72	0,70
100	1,00	0,99	0,94	0,89	0,84	0,81	0,77	0,75	0,72	0,70
120	1,00	0,99	0,94	0,89	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70

140	1,00	0,99	0,94	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
160	1,00	0,99	0,94	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
180	1,00	0,99	0,94	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
200	1,00	0,99	0,95	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
220	1,00	0,99	0,95	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
240	---	1,00	0,95	0,90	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
260	---	1,00	0,95	0,90	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
280	---	1,00	0,96	0,90	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
300	---	1,00	0,96	0,90	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
350	---	1,00	0,96	0,90	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72	0,70
400	---	1,00	0,96	0,91	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72	0,70
500	---	1,00	0,96	0,92	0,86	0,82	0,78	0,75	0,73	0,70
600	---	1,00	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,75	0,73	0,70
800	---	---	1,00	0,95	0,88	0,83	0,79	0,76	0,73	0,70
1000	---	---	1,00	0,96	0,89	0,84	0,78	0,76	0,73	0,71
1250	---	---	1,00	0,97	0,91	0,85	0,80	0,77	0,74	0,71
1500	---	---	---	1,00	0,93	0,86	0,81	0,77	0,74	0,71
1750	---	---	---	1,00	0,94	0,86	0,81	0,77	0,73	0,70
2000	---	---	---	1,00	0,95	0,86	0,80	0,76	0,72	0,69
2500	---	---	---	1,00	0,95	0,85	0,78	0,73	0,69	0,66
3000	---	---	---	---	1,00	0,82	0,74	0,69	0,65	0,62

Tabla 4. Factor de corrección para el vapor sobrecalentado,  $K_{SH}$

### Dimensionamiento para el alivio de líquido

Las válvulas de seguridad para el alivio de líquido se dimensionan de acuerdo con los requerimientos de capacidad del código ASME Div. VIII.

$$A = \frac{Q}{38K_d K_w K_v} \sqrt{\frac{G}{P_1 - P_2}} \quad (10)$$

Q Flujo volumétrico, US Gal/min.

$K_d$  Coeficiente de descarga, se asume 0,65, no obstante este valor puede variar de acuerdo con el fabricante de la válvula.

$K_w$  Factor de corrección por contrapresión. Si la contrapresión es la atmósfera entonces  $K_w=1,0$ . Las válvulas convencionales no requieren este factor de corrección; para válvulas con fuelle,  $K_w$  se obtiene de la Figura 4.

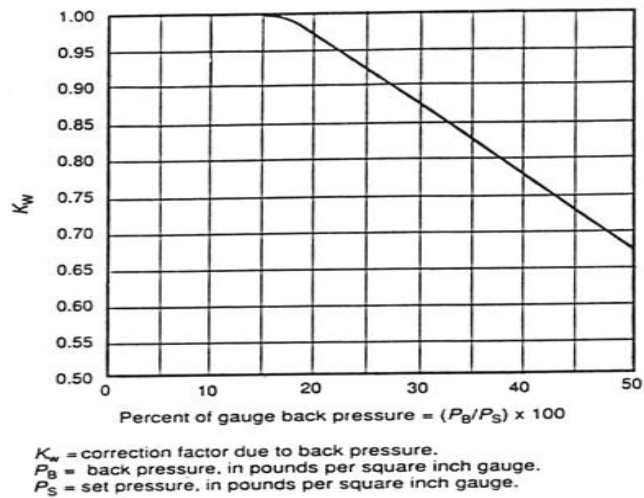
$K_v$  Factor de corrección por viscosidad, se obtiene de la Figura 5.

G Gravedad específica del líquido a la temperatura de flujo, referida al agua.

R Número de Reynolds.

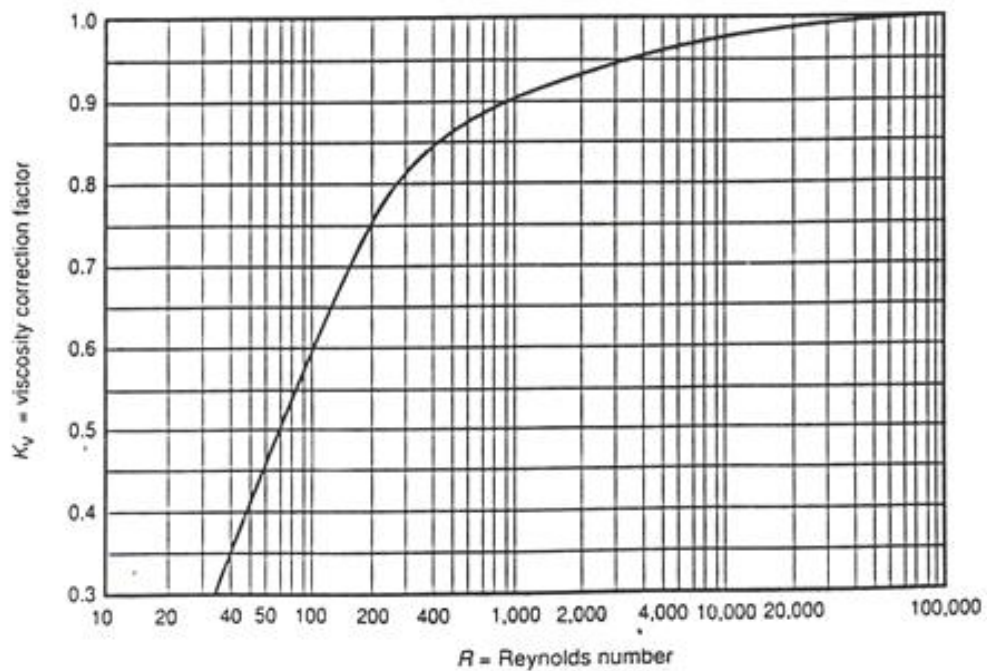
$\mu$  Viscosidad absoluta a la temperatura de flujo, cP.

Figura 5. Factor de corrección por contrapresión,  $K_w$ , para válvulas de seguridad balanceadas tipo fuelle en servicio líquido.



**Fuente:** API RP 520. Sizing, Selection, and installation of Pressure-Relieving Devices in refineries. Part I – Sizing and selection. Ninth Edition, July 2014.

Figura 6. Factor de corrección por viscosidad,  $K_v$ .



**Fuente:** *API RP 520. Sizing, Selection, and installation of Pressure-Relieving Devices in refineries. Part I – Sizing and selection. Ninth Edition, July 2014.*

Cuando una válvula se dimensiona para servicio con un líquido viscoso, ésta primero se calcula como si se tratase de un fluido no viscoso, con  $K_v=1$  y se obtiene un área y un orificio preliminar. Con el área correspondiente al orificio estándar seleccionado se calcula el número de Reynolds, a partir de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{Q(2800G)}{\mu\sqrt{A}} \quad (11)$$

Si  $R > 50000$  entonces  $K_v=1$ , si no el valor de  $K_v$  se obtiene en la Figura 5, con este dato se corrige el área calculada preliminarmente, si el área corregida excede el área del orificio seleccionado se repiten los cálculos para el siguiente tamaño de orificio.

### **Dimensionamiento por expansión térmica de líquido**

Un equipo completamente lleno de líquido y susceptible de llegar a bloquearse que reciba una entrada de calor, debe contar con un dispositivo de alivio de presión. Este es el caso de los intercambiadores de calor, condensadores y enfriadores, o tuberías largas expuestas a fuentes de calor como la radiación solar.

El caudal de líquido a aliviar durante la expansión térmica se obtiene con la siguiente expresión:

$$gpm = \frac{\beta H}{500GC_p} \quad (12)$$

gpm Caudal volumétrico a la temperatura de flujo, gal/min.

H Flujo de calor total transferido, BTU/hr. Para intercambiadores de calor esto corresponde al “Duty” máximo durante la operación.

$C_p$  Calor específico del líquido, BTU/lb-°F

$\beta$  Coeficiente de expansión cúbica por grado Fahrenheit para el líquido a la temperatura esperada. Para el agua a 60 °F,  $\beta=0,0001$ , para hidrocarburos a 60 °F con gravedades entre 3 y 100 °API,  $\beta$  varía entre 0,0004 y 0,0009.

El coeficiente de expansión cúbica se puede inferir a partir de datos de Densidad Vs. Temperatura, así:

$$\beta = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad \Longrightarrow \quad \beta = \frac{\rho_{AVG} \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right)}{T_2 - T_1} \quad (13)$$

$\rho_{AVG}$  Densidad promedio.

T Temperatura

V Volumen

P Presión

$\rho$  Densidad

Cuando no se tienen datos de Densidad Vs. Temperatura, una aproximación es:

$$\beta = \frac{0.31}{T_c - T} \quad (14)$$

Donde  $T_c$  es la temperatura crítica. Con este método, las desviaciones de  $\beta$  están entre 0 y 20% que se considera tolerable cuando se trata de dimensionar válvulas por expansión térmica.

Una vez calculado el caudal volumétrico, se procede al cálculo del área haciendo uso de la ecuación 10.

Como presión de disparo se acostumbra emplear la presión de diseño de la tubería; según el ASME, la presión de disparo no debe exceder la presión de prueba del sistema o el 120% de la presión de diseño.

## **Dimensionamiento para el alivio de dos fases: Líquido/Vapor.**

El área del orificio de la válvula corresponde a la suma del área requerida para el alivio del gas y la necesaria para el alivio del líquido. Debe considerarse adicionalmente la generación de vapor debida a la evaporación instantánea (“Flash”) que se produce al pasar el fluido a través de la válvula, porque de lo contrario la válvula quedará subdimensionada ya que el vapor generado disminuye la capacidad de flujo másico.

La cantidad de líquido que se evapora se calcula como una expansión isoentálpica (Adiabática) desde las condiciones de alivio hasta la mayor presión entre la presión crítica aguas abajo o la contrapresión.

La presión crítica se calcula con la ecuación (7), o sea puede simplificar considerando:  $P_{CF} \approx 0,55P_1$ .

Se procede luego a calcular con las ecuaciones (8) o (9) según sea el caso, el área requerida para aliviar el vapor generado y con la ecuación (11) el área requerida para aliviar el líquido que no se evaporó. El área total requerida por la válvula de seguridad es la suma de las dos áreas anteriores.

Es conveniente seleccionar una válvula de seguridad balanceada para minimizar los efectos de evaporación instantánea en la capacidad de la válvula.

## **Dimensionamiento por fuego**

Recipiente con superficie húmeda

El área de alivio requerida por la válvula de seguridad es función del vapor generado por el ingreso de calor.

La cantidad de calor absorbido depende de las características del combustible que alimenta el fuego, la geometría del recipiente y las medidas de protección contrafuego con que cuenta el equipo.

La siguiente relación permite estimar la cantidad de calor absorbido por un recipiente con superficie húmeda y que dispone de pavimento en espina de pescado con drenaje hacia un área segura y sistema contra incendio apropiados.

$$q = 21000FA^{-0.18} \quad \text{Ó} \quad Q = 21000FA^{0.82} \quad (14)$$

- q Calor absorbido promedio, BTU/hr-pie<sup>2</sup> de superficie húmeda.
- Q Calor total que ingresa a la superficie húmeda.
- F Factor ambiental. Para recipientes sin aislamiento resistente al fuego, F=1 y para recipientes con aislamiento resistente al fuego, F=0,3
- A Superficie húmeda total, pie<sup>2</sup>. Corresponde al área del recipiente que está en contacto con su líquido interno y que se encuentra a una altura de máximo 8 metros (25 pies) con respecto al foco del fuego.

Cuando el equipo contra incendio y el sistema de drenaje no son adecuados, la ecuación (14) se convierte en:

$$q = 34500FA^{-0.18} \quad (15)$$

Conociendo el calor absorbido y el valor del calor latente de vaporización del fluido, se calcula el flujo másico requerido y se aplican las ecuaciones (8) y (9) según sea el caso.

Recipientes con superficie no húmeda

Las válvulas de seguridad dimensionadas por emergencia fuego en recipientes que sólo contienen gas, se calculan como una expansión térmica de gas.

$$A = \frac{F' A'}{\sqrt{P_1}} \quad F' = \frac{0.1406(T_w - T_1)^{1.25}}{CK_D T_1^{0.6506}} \quad T_1 = \frac{P_1}{P_\eta} T_\eta \quad (16)$$

- A Área efectiva de descarga de la válvula de seguridad,  $\text{plg}^2$
- A' Área superficial expuesta del recipiente,  $\text{pie}^2$
- T<sub>w</sub> Temperatura de pared del recipiente, °R. Se asume máximo 1100 °F para recipientes en acero al carbón. Para aleaciones se debe cambiar este valor por uno más conveniente: para S.S. 304 y S.S. 316, T<sub>w</sub>=1500 °F; para inconel, T<sub>w</sub>=1300 °F; para monel, T<sub>w</sub>=1000 °F; T6 aluminio, T<sub>w</sub>=400 °F.
- T<sub>1</sub> Temperatura del gas a la presión aguas arriba, °R.
- P<sub>n</sub> Presión del gas a las condiciones normales de operación, Psia.
- T<sub>n</sub> Temperatura del gas a las condiciones normales de operación, °R.

El valor mínimo recomendado para F' es 0,01, cuando no es posible calcularlo se debe emplear F'=0,045.

## ANEXO E. Disco de Ruptura

El disco de ruptura es un dispositivo de presión diferencial (un diafragma metálico delgado, sostenido entre bridas), que se rompe por acción de la presión estática aguas arriba, que una vez abierto no se cierra de nuevo.

Por su construcción ofrece un sello perfecto evitando pérdidas de productos peligrosos o de gran valor al tiempo que evita cualquier posibilidad de obstrucción; se puede construir en materiales altamente resistentes a la corrosión, siendo ésta su mayor ventaja. Además, cuanto a su favor su bajo costo, simplicidad y alta respuesta.

Sin embargo, están sujetos a fatiga por esfuerzos, no se pueden someter a pruebas y lo principal, cuando se acciona, el sistema debe sacarse de operación para reemplazar el disco.

En términos de seguridad, un disco de ruptura es el último recurso para aliviar un sistema.

Cuando el fluido a aliviar es viscoso, muy corrosivo, tóxico o de gran valor, se emplean discos de ruptura como sistema primario de protección o únicos dispositivos de seguridad. Se deben diseñar para una presión de disparo que no exceda la MAWP y para una sobrepresión del 10%.

Los discos de ruptura también pueden instalarse como un sistema secundario de protección asociado a otro disco de ruptura o a una válvula de seguridad.

El código ASME establece las siguientes pautas para el dimensionamiento de los discos de ruptura como elementos secundarios de protección:

Si la emergencia es operacional, el disco se dimensiona con una presión de disparo del 105% de la MAWP y una sobrepresión del 116%, el dispositivo principal operaría a una presión de disparo igual o inferior a la MAWP.

Bajo condiciones de emergencia tipo fuego, la presión de disparo es igual al 110% de la MAWP y la sobrepresión de 21%, el dispositivo principal operaría a una presión de disparo igual o inferior a la MAWP.

Cuando se emplea un disco de ruptura en paralelo con una válvula de seguridad, la presión de ruptura del disco debe ser mayor que la presión de apertura de la válvula de seguridad. Este arreglo es útil cuando se pueden presentar reacciones químicas que eleven la presión incontrolablemente.

Otro arreglo frecuente donde se combinan varios dispositivos de alivio es aquel en el que se instala un disco de ruptura entre el equipo protegido y la válvula de seguridad; se efectúa cuando se quiere proteger la válvula de la corrosión o evitar la más mínima fuga de fluidos tóxicos a través de la válvula. Se debe tener precaución con este arreglo ya que la capacidad de la válvula de seguridad se disminuye en un 10%. El área de la sección mínima transversal en correspondencia con el disco no debe ser inferior al área de la sección transversal de la conexión de ingreso de la válvula de seguridad.

Para dimensionar un disco de ruptura se aplican las formulas empleadas para el dimensionamiento de las válvulas de alivio de presión (ecuaciones (8) a (11)), empleando para todos los fluidos un coeficiente de descarga  $K_d$  igual a 0,62. El disco de ruptura seleccionado debe ser de un tamaño cuya área sea igual o mayor que el área calculada.

## **ANEXO F. Recomendaciones para el diseño de las líneas de entrada y salida de las PSV**

### **Línea de ingreso**

Las pérdidas de presión en la línea de ingreso a una válvula de seguridad disminuyen su capacidad y ocasionan “*Chattering*”, deteriorando la válvula y causando vibraciones indeseables.

Para evitar esto, la tubería se debe diseñar con los siguientes parámetros:

- Las pérdidas totales de presión entre el equipo protegido y la válvula de alivio no deben superar el 3% de la presión de disparo de la válvula. Si antes de la válvula de seguridad se encuentra instalado un disco de ruptura, la caída de presión a través de éste se debe incluir; algunas fuentes (EXXON), recomiendan asumir que el disco de ruptura equivale a 50 diámetros de tubería recta, el API RP520 recomienda un valor de 75 diámetros de tubería recta.
- El diámetro nominal de ésta línea debe ser el mismo o mayor que el diámetro nominal de la brida de ingreso a la válvula de seguridad.
- Si las caídas de presión son muy altas, se recomienda la instalación de válvulas piloteadas, ya que la válvula piloto puede censar la verdadera presión del sistema aguas arriba de la zona con alta caída de presión y controlar adecuadamente la apertura de la válvula principal evitando el “*Chattering*”; sin embargo, la capacidad de la válvula se verá reducida por disminución en la presión de entrada a ésta.
- La instalación de soportes adicionales puede minimizar las vibraciones frecuentes de esta línea de ingreso.
- Se debe evitar la instalación de las válvulas de seguridad al final de un tramo largo de tubería horizontal en el cual es posible que se acumule líquido lo que interfiere con la operación correcta de la válvula y demanda de un mantenimiento más periódico.

- La línea de ingreso a la válvula de seguridad debe ser autodrenante hacia el equipo protegido.

### **Línea de descarga de un dispositivo de alivio de presión y cabezal de alivio**

Las líneas de descarga de los dispositivos de alivio de presión de deben diseñar de manera tal que cumplan los siguientes requisitos:

- El diámetro de la línea de descarga debe ser al menos igual al diámetro de la brida de salida de la válvula de seguridad. La B.P. (“*British Petroleum*”) sugiere calcular el diámetro con una rugosidad de 0,018 plg que resulta más representativo, y no con 0,0018 plg que es el valor para la tubería limpia en acero al carbón y que lo sugiere el API 521.
- Según la EXXON, el número de Mach para la fase de vapor o fase mixta en la tubería aguas abajo de las válvulas de seguridad en servicio continuo no debe ser superior a 0,5. Sin embargo, para servicios de corta intervención el número de Mach puede llegar a 0,75. La B.P. permite un número de Mach de 0,8 cuando el factor gobernante es la velocidad y no la contrapresión.
- Cuando el fluido que se alivia es inflamable, se debe prever una velocidad mínima de 30 m/s bajo todas las condiciones previsibles a excepción del caso fuego. La B.P. recomienda instalar una descarga individual a la atmósfera para las válvulas que alivian un fluido tóxico e inflamable, con un número de Mach de 0,9 a la máxima capacidad de descarga para maximizar la dilución de la sustancia en la atmósfera.
- Cuando se conectan cabezales de diferentes materiales de construcción, previendo la posibilidad de que se presente un flujo en retroceso, se recomienda que el material de más alta calidad sea usado al menos 10 m. aguas arriba del punto donde se da el cambio de las condiciones de proceso (B.P.).

- El porcentaje de la relación entre la contrapresión ( $P_B$ ) y la presión de disparo ( $P_S$ ) debe respetar los siguientes valores de acuerdo con el tipo de válvula de seguridad:

TIPO DE VÁLVULA	$\frac{P_B}{P_S} \times 100$
Válvula convencional	< 10%
Válvula balanceada	< 30%
Válvula piloteada	< 30 a 50%

- Cuando existen cabezales secundarios, que recogen los alivios de unidades independientes y que finalmente se conectan al cabezal principal de tea, éstos deben contar con válvula de bloqueo “*Locked Open*”, válvula de drenaje y ciega en los límites de batería de cada unidad para facilitar las operaciones de parada por unidad.
- Se prefiere que las conexiones de los cabezales secundarios al cabezal principal sea en ángulo de 45° o 30° porque se disminuye la caída de presión y las fuerzas de reacción.
- El cabezal de tea debe ser autodrenante, con pendiente hacia la tea o hacia el tambor de abatimiento de la tea.

Una vez se ha definido el flujo máximo a aliviar y la contrapresión máxima esperada en el cabezal de alivio, se procede a determinar el diámetro del cabezal, para esto se efectúan cálculos que pueden ir desde los más sofisticados basados en aproximaciones adiabáticas hasta los más sencillos pero seguros basados en un tratamiento isotérmico del problema.

Con el método isotérmico, (en el cual se basa el programa DIMTOR, para el cálculo de los diferentes ramales y cabezales de alivio) recomendado en el API RP521, el

cálculo se efectúa desde la tea (donde se conoce la presión), hacia los dispositivos de seguridad. Los pasos son los siguientes:

- Se asignan diámetros iniciales a cada trayecto de tubería
- Se calcula el número de Mach ( $M_2$ ) a la salida del primer trayecto (tea).

$$M_2 = 1,702 \times 10^{-5} \left( \frac{W}{P_2 D^2} \right) \left( \frac{ZT}{M_w} \right)^{1/2} \quad (17)$$

- Se halla la relación  $fL/D$ .
- Conocidos  $M_2$  y  $fL/D$ , se encuentra  $P_2/P_1$ , con la ecuación:

$$\frac{fL}{D} = \left( \frac{1}{M_2^2} \right) \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^2 \right] - \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^2 \quad (18)$$

- De esta forma se obtiene la presión,  $P_1$ , al inicio del trayecto en cuestión. Esta presión es la presión  $P_2$ , o de salida del tramo aguas arriba del trayecto analizado.
- Se repiten los anteriores pasos hasta encontrar todas las presiones de entrada en cada trayecto y verificar que se respete la relación de contrapresión a presión de disparo en cada dispositivo de alivio, si este no es el caso se recalcula de nuevo cambiando los diámetros apropiadamente.

En los cabezales a alta presión se debe verificar si el flujo es crítico usando la siguiente relación:

$$P_{Crítica} = \left( \frac{W}{408d^2} \right) \left( \frac{ZT}{M_w} \right)^{0.5} \quad (19)$$

Si para un trayecto dado  $P_2$  es menor que  $P_{Crítica}$ , el flujo es crítico y se emplea  $P_{Crítica}$  en lugar de  $P_2$ .

Para las ecuaciones anteriores la simbología es la siguiente:

f	Factor de fricción de Moody
L	Longitud equivalente de la tubería, pies.
D	Diámetro interno de la tubería, pies.
M <sub>1</sub>	Número de Mach al ingreso de la tubería.
M <sub>2</sub>	Número de Mach a la salida de la tubería.
P <sub>1</sub>	Presión de entrada a la tubería, Psia.
P <sub>2</sub>	Presión de salida de la tubería, Psia.
W	Flujo de gas, lb/hr.
Z	Factor de compresibilidad del gas.
M <sub>w</sub>	Peso molecular del gas.
T	Temperatura absoluta, °R.

# ANEXO G. Ejemplo de la interfaz de la herramienta de dimensionamiento

Interfaz de la hoja de cálculo en el caso de una emergencia operacional y con servicio Gas.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following content:

- Grid (Rows 1-31, Columns A-J):**
  - Row 1: Gas ard Vapor, Servico
  - Row 2: Hacia enfria
  - Row 3: P1
  - Row 4: P2
  - Row 5: P3
  - Row 6: P4
  - Row 7: P5
  - Row 8: P6
  - Row 9: P7
  - Row 10: P8
  - Row 11: P9
  - Row 12: P10
  - Row 13: P11
  - Row 14: P12
  - Row 15: P13
  - Row 16: P14
  - Row 17: P15
  - Row 18: P16
  - Row 19: P17
  - Row 20: P18
  - Row 21: P19
  - Row 22: P20
  - Row 23: P21
  - Row 24: P22
  - Row 25: P23
  - Row 26: P24
  - Row 27: P25
  - Row 28: P26
  - Row 29: P27
  - Row 30: P28
  - Row 31: P29
- Graph (Upper Right):** A line graph showing a curve on a grid. The y-axis ranges from 0 to 100, and the x-axis ranges from 0 to 100. The curve starts at (0,0) and rises steeply, then levels off. Labels include 'P1', 'P2', and 'P3'.
- Table (Bottom Right):**

ATA DE		Configuración de la	
OPCIÓN (P <sub>g</sub> )		YÁRRIA	
OPCIÓN	ATA DE	OPCIÓN	ATA DE
1	1000	1	1000
2	1000	2	1000
3	1000	3	1000
4	1000	4	1000
5	1000	5	1000
6	1000	6	1000
7	1000	7	1000
8	1000	8	1000
9	1000	9	1000
10	1000	10	1000
11	1000	11	1000
12	1000	12	1000
13	1000	13	1000
14	1000	14	1000
15	1000	15	1000
16	1000	16	1000
17	1000	17	1000
18	1000	18	1000
19	1000	19	1000
20	1000	20	1000
21	1000	21	1000
22	1000	22	1000
23	1000	23	1000
24	1000	24	1000
25	1000	25	1000
26	1000	26	1000
27	1000	27	1000
28	1000	28	1000
29	1000	29	1000
30	1000	30	1000
31	1000	31	1000
- Text (Bottom Right):**

NOTA: Se debe verificar la letra de oficina según el ATU E26 en el caso inmediatamente mayor a la calculada.

## ANEXO H. Formato del reporte interno del dimensionamiento de una PSV



**DATA SHEET FOR  
PRESSURE SAFETY AND RELIEF VALVES**

PROYECTO:	Project:	UNIDAD:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO	PROGRESIVO	REVISIÓN	HOJA
CLIENTE:	Client:	Unit:	Document code:	SERIAL No.:	Revision:	Sheet
PROYECTO No.:	Project No.:		PDS 1545	D1		1 DE 1
						OF

1	Rev	<b>TAG NUMBER</b>					
2							
3							
4		<b>SERVICE</b>					
5							
6							
7		<b>FLUID</b>	<b>STATE</b>	<b>PHASE</b>			
8							
9		<b>CP/CV</b>	<b>CRITICAL PRESSURE</b>		psi A	(Liquids only)	
10							
11		<b>EROSIVE</b>	<b>CORROSIVE</b>	<b>TOXIC</b>			
12							
13		<b>OPER.PRESS</b>	<b>OPER.TEMP.</b>	<b>DES.TEMP.</b>	psi G	°F	°F
14							
15		<b>FLUID DISCHARGE TO :</b>		Process			
16							
17		<b>CALCULATION CODE</b>		API RP 520			
18							
19		<b>FIRE CASE</b>	<b>FIRE AREA</b>				
20							
21		<b>EMERGENCY DESCRIPTION</b>					
22							
23		<b>Kv</b>	<b>Kd</b>	<b>Kd Liq</b>	<b>Kb</b>	<b>Kw</b>	
24							
25		<b>Ksh</b>	<b>Kc</b>	<b>Kd 2ph</b>	<b>Kd 2ph B</b>		
26							
27		<b>RELIEVING CONDITIONS</b>					
28							
29		<b>TEMP.</b>	<b>M.W.</b>	<b>COMPRESS</b>	°F		
30							
31		<b>SPEC. GRAVITY</b>		<b>VISCOSITY</b>		(Liquids only)	cP
32							
33							
34		<b>MAXIMUM DISCHARGE</b>		lb/h			
35							
36		<b>SET PRESSURE</b>		<b>ACCUMUL. (%)</b>		psi G	
37							
38		<b>SUPERIMP. BACK PRESS.</b>	<b>Const. Var.</b>	<b>BUILTUP BACK PRESS.</b>		psi A	
39						psi	psi
40							
41		<b>CALC. ORIFICE</b>		<b>SELECTED ORIFICE</b>		in <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>
42							
43		<b>VALVE TYPE</b>					
44							
45		<b>IN</b>	<b>BY</b>	<b>OUT</b>			
46							
47		<b>NOTES:</b>					
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							

EMISIÓN PARA XXXXX			N. APELLIDO	N. APELLIDO	N. APELLIDO
REVISIÓN	FECHA DE REVISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	PREPARED	CHECKED	APPROVED
Revision	Revision Date	Revision Description	Prepared by	Checked by	Approved by

Fuente: TIPIEL SA, Autor.