



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS DE  
ALIVIO DE PRESIÓN (VÁLVULAS DE  
SEGURIDAD-ALIVIO), A FLUJO DE DOS FASES  
LÍQUIDO/VAPOR PARA SISTEMAS DE ALIVIO DE  
PRESIÓN

TESIS

Para obtener el Título de Ingeniero Químico

Presenta:

Miguel Angel Gómez Aparicio

Director de Tesis:

M. en C. Víctor Hugo Villar Marín



2022





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# AGRADECIMIENTOS

A MI MADRE POR SUS CONOCIMIENTOS, VALORES, APOYO Y SU IDEAL  
DE TRABAJO CONSTANTE

A MI PADRE POR GRAN EJEMPLO A SEGUIR EN LA VIDA PROFESIONAL

A MIS HERMANOS IVAN Y EMILIANO POR SU CARIÑO Y SU PACIENCIA

A MIS AMIGOS Y AMIGAS DE LA UNIVERSIDAD POR SU SUSTENTÁCULO  
EN MI VIDA COMO ESTUDIANTE

A MI HONORABLE FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
POR DARME MI FORMACIÓN PROFESIONAL CON DETERMINACIÓN

A MI GRAN ASESOR Y EXCELENTE PROFESOR DE MI CARRERA MAESTRO  
EN CIENCIAS VÍCTOR HUGO VILLAR MARÍN

**LA DISCIPLINA VENCERÁ ANTE LA  
INTELIGENCIA...**

*MAESTRO EN CIENCIAS VÍCTOR HUGO VILLAR MARÍN*

*DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA  
EL DIMENSIONAMIENTO  
DE INSTRUMENTOS DE ALIVIO  
DE PRESIÓN (VÁLVULAS DE  
SEGURIDAD-ALIVIO) A FLUJO DE DOS  
FASES LÍQUIDO-VAPOR PARA  
SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESIÓN*

# CONTENIDO

DEFINICIONES	9
RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	20
1.1 NECESIDAD DE SIMULADORES EN EL DESARROLLO DE DISEÑOS CONFIABLES DE VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN	21
1.2 PROBLEMÁTICA	22
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.4 ALCANCE	24
1.5 LIMITACIONES	25
1.6 JUSTIFICACIÓN	26
1.7 OBJETIVO GENERAL	26
1.8 OBJETIVOS PARTICULARES	26
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	28
2.1 SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESIÓN	29
2.2 DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN	29
2.2.1 VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN (PRV)	29
2.2.2 PRV CONVENCIONAL (CON RESORTE)	29
2.2.3 PRV CON RESORTE DISEÑADAS PARA APLICACIONES DE SERVICIO LÍQUIDO	37
2.3 PRV EQUILIBRADAS	41
2.4 PRV OPERADAS POR PILOTO	44
2.4.1 APLICACIONES Y LIMITACIONES DE LAS PRV (OPERADAS POR PILOTO)	48
2.4.2 CONEXIÓN DE PRUEBA DE CAMPO	51
2.4.3 VÁLVULA ANTI-RETORNO	51
2.4.4 FILTRO DE SUMINISTRO PILOTO	51
2.4.5 AMORTIGUADOR DE PICOS DE PRESIÓN	52
2.4.6 CONEXIÓN DE DETECCIÓN DE PRESIÓN REMOTA	52
2.4.7 DESCARGA MANUAL O REMOTA	52
2.4.8 PALACA DE ELEVACIÓN PILOTO	52
2.5 DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN	54
2.5.1 DISCOS DE RUPTURA	54
2.5.2 APLICACIONES DE DISCOS DE RUPTURA	55
2.5.2.1 APLICACIONES INDIVIDUALES, MÚLTIPLES Y DE FUEGO	55
2.5.2.2 DISPOSITIVOS DE DISCOS DE RUPTURA EN LA ENTRADA DE UNA PRV	56
2.5.3 DISPOSITIVOS DE DISCOS DE RUPTURA EN LA SALIDA DE UNA PRV	58
2.5.3.1 APLICACIONES ALTAMENTE CORROSIVAS	59
2.5.3.2 APLICACIONES MUY VISCOSAS	59
2.5.4 TIPOS DE DISCOS DE RUPTURA	59
2.5.5 DISCOS DE RUPTURA DE METAL SÓLIDO DE ACCIÓN DIRECTA	59

2.5.5.1 DISCOS DE RUPTURA MARCADOS DE ACCIÓN DIRECTA	60
2.5.5.2 DISCOS DE RUPTURA COMPUESTOS DE ACCIÓN DIRECTA	60
2.5.6 DISCOS DE RUPTURA DE ACCIÓN DIRECTA	63
2.5.7 DISCOS DE RUPTURA DE GRAFITO	65
2.5.8 SOPORTES PARA DISCOS DE RUPTURA	67
2.5.9 ACCESORIOS DE DISCOS DE RUPTURA	67
2.6 SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DEL DISCO DE RUPTURA	69
2.6.1 SELECCIÓN DEL DISCO DE RUPTURA	69
2.6.2 ESPECIFICACIÓN DEL DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA	73
2.6.3 DISPOSITIVOS ACCIONADOS POR CLAVIJAS	73
2.6.4 DISPOSITIVOS DE PASADOR DE PARDEO	73
2.6.5 ESTABLECER PRESIÓN Y TEMPERATURA	75
2.6.6 ESTANCAMIENTO CONTRA FUGAS	76
2.6.7 MARCADO Y ETEQUETADO	76
2.6.8 ROMPER LOS DISPOSITIVOS DE CLAVIJA	76
2.6.9 RUTAS DE FLUJO ABIERTAS O CONDUCTOS DE VENTILACIÓN	77
2.6.10 OTROS TIPOS DE DISPOSITIVOS	77
2.7 PROCEDIMIENTOS DE DIMENSIONAMIENTO	78
2.7.1 DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS DE ALIVIO	78
2.7.2 ÁREA EFECTIVA POR PARTE DE (API) Y COEFICIENTE DE DESCARGA EFECTIVO	78
2.8 CONTRAPRESIÓN	80
2.8.1 EFECTOS DE LA CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA EN LA APERTURA DE LA PRV	80
2.8.2 EFECTOS DE LA CONTRAPRESIÓN EN LA OPERACIÓN DE LA PRV Y LA CAPACIDAD DE FLUJO	81
2.8.3 PRV CONVENCIONAL	81
2.8.4 PRV EQUILIBRADAS	82
2.8.5 PRV OPERADAS POR PILOTO	85
2.8.6 EFECTOS DE LA CONTRAPRESIÓN, DISEÑO DEL CABEZAL EN EL DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE PRV	85
2.8.7 ALIVIAR LA PRESIÓN	86
2.8.8 CONTRAPRESIÓN OPERATIVAS	86
2.8.9 INSTALACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO	86
2.8.10 INTALACIÓN DE VARIOS DISPOSITIVOS	87
2.8.11 CONTINGENCIAS DE INCENDIOS	88
2.8.12 INSTALACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO	89
2.8.13 INSTALACIÓN DE VARIOS DISPOSITIVOS	89
2.8.14 INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS SUPLEMENTARIOS	89
2.8.1.5 DESARROLLO DE ECUACIONES DE DIMENSIONAMIENTO	90
CAPÍTULO 3 PROCEDIMIENTO ENFOCADO A DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD-ALIVIO	92

3.1 DIMENSIONAMIENTO DESDE UN PUNTO DE VISTA GENERAL	93
3.1.1 LA APLICACIÓN DE ECUACIONES	93
3.1.2 COEFICIENTE DE DESCARGA	96
3.2 SECCIÓN "C.2.1"	97
3.2.1 DIMENSIONAMIENTO POR INTEGRACIÓN DIRECTA DEL FLUJO DE BOQUILLA ISENTRÓPICA	97
3.3 SECCIÓN "C.2.2"	101
3.3.1 DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV UTILIZANDO EL MÉTODO OMEGA ( $\omega$ )	101
CAPÍTULO 4 DESARROLLO DEL SIMULADOR RELIEF	137
4.1 PRESENTACIÓN GENERAL DEL SIMULADOR	108
4.2 MÉTODOS Y ECUACIONES IMPLICADAS EN RELIEF	108
4.3 LOS ARCHIVOS	109
4.4 MÓDULOS	109
4.4.1 MÓDULO 1.- SELECCIÓN DE TIPO DE PRV	109
4.4.2 MÓDULO 2.- CAPTURA DE DATOS TÉCNICOS DEL RECIPIENTE Y CONDICIONES DE SERVICIO DEL RECIPIENTE	109
4.4.3 MÓDULO 3.- DIMENSIONAMIENTO DE PARÁMETROS Y SIMULACIÓN DE DISEÑO DE LA PRV	110
4.4.4 MÓDULO 4.- INFORMACIÓN DE INGENIERÍA DE PROCESOS (HOJA DE DATOS DE PROCESOS DEL RECIPIENTE EN USO, BALANCE DE MASA DEL RECIPIENTE EN USO)	110
4.5 CURSO DINÁMICO DEL SIMULADOR RELIEF	111
4.5.1 INICIACIÓN DEL SIMULADOR RELIEF	111
4.5.2 PANTALLA DE INICIO	111
4.5.3 INICIO DE LA SIMULACIÓN	114
4.5.4 INGRESO DE DATOS, ESPECIFICACIONES, GENERALIDADES Y CONDICIONES DE SERVICIO	116
4.5.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y SIMULACIÓN DE DISEÑO DE LA PRV	119
4.5.6 SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV	120
4.5.7 CÁLCULOS DE LA VÁLVULA Y DETERMINACIÓN SI ES FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO	122
CAPÍTULO 5 CASOS DE ESTUDIO	127
5.1 CASO NO.1 DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO (FLUJO A DOS FASES LÍQUIDO/VAPOR)	128
5.1.1 SOLUCIÓN	129
5.1.2 SELECCIÓN DEL ÁREA DEL ORIFICIO DE LA PRV (OPCIONAL)	132
5.2 CASO NO.2 DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO (FLUJO A DOS FASES LÍQUIDO/VAPOR)	133
5.2.1 SOLUCIÓN	134

5.2.2 SELECCIÓN DEL ÁREA DEL ORIFICIO DE LA PRV (OPCIONAL)	137
CAPÍTULO 6 RESULTADOS Y ANÁLISI DE RESULTADOS	139
6.1 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS	140
CAPÍTULO 7 CONCLUSIÓN, ÁREAS DE OPORTUNIDAD Y RECOMENDACIONES	143
7.1 CONCLUSIONES	144
7.1.1 CONCLUSIÓN GENERAL	144
7.1.2 CONCLUSIONES PARTICULARES	144
7.2 ÁREAS DE OPORTUNIDAD	145
7.3 RECOMENDACIONES	145
BIBLOGRAFÍA	146

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 PRV CONVENCIONAL CON UN SOLO ANILLO DE AJUSTE PARA CONTROL DE FUGAS	31
FIGURA 2 PRV DE FUELLES BALANCEADOS	32
FIGURA 3 PRV DE FUELLES BALANCEADOS CON UN PISTÓN AUXILIAR EQUILIBRADO	33
FIGURA 4 PRV CONVENCIONAL CON CONEXIONES ROSCADAS	34
FIGURA 5 SERVICIO DE OPERACIÓN VAPOR-GAS	35
FIGURA 6 RELACIÓN TÍPICA ENTRE LA ELEVACIÓN DEL DISCO Y LA PRESIÓN DEL RECIPIENTE EN UNA PRV	37
FIGURA 7 PRV DE OPERACIÓN-SERVICIO LÍQUIDO	38
FIGURA 8 EFECTOS TÍPICOS DE LA CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA SOBRE LA PRESIÓN DE APERTURA DE LA CONVENCIONAL (PRV)	41
FIGURA 9 EFECTOS TÍPICOS DE LA CONTRAPRESIÓN EN LA PRESIÓN DE AJUSTE DE LA PRV EQUILIBRADA	42
FIGURA 10 VÁLVULA OPERADA POR PILOTO DE ACCIÓN POP (TIPO DE FLUJO)	45
FIGURA 11 VÁLVULA OPERADA POR PILOTO DE ACCIÓN POP (TIPO SIN FLUJO)	45
FIGURA 12 VÁLVULA REGULADORA OPERADA POR PILOTO (TIPO DE FLUJO)	45
FIGURA 13 VÁLVULA DE ALIVIO OPERADA POR PILOTO CON UNA VÁLVULA PILOTO MODULADORA QUE NO FLUYE	47
FIGURA 14 VÁLVULA ACCIONADA POR PILOTO DE BAJA PRESIÓN (TIPO DE DIAFRAGMA)	48
FIGURA 15 RELACIONES DE NIVEL DE PRESIÓN PARA PRV	49
FIGURA 16 RELACIÓN TÍPICA ENTRE LA ELEVACIÓN DEL DISCO O EL PISTÓN EN UNA VÁLVULA DE ESCAPE DE AIRE OPERADA POR PILOTO ACCIÓN POP	50
FIGURA 17 RELACIÓN TÍPICA ENTRE LA ELEVACIÓN DEL DISCO O PISTÓN Y LA PRESIÓN DEL RECIPIENTE EN UNA VÁLVULA DE CONTROL DE PASO DE ACCIÓN DE MODULACIÓN OPERADAS POR PILOTO	50
FIGURA 18 DISPOSITIVOS DISCOS DE RUPTURA	56
FIGURA 18.1 RELACIONES DE NIVEL DE PRESIÓN PARA DISPOSITIVOS DE DISCO DE RUPTURA	57
FIGURA 19 DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA EN COMBINACIÓN CON UNA PRV	58
FIGURA 20 DISCO DE RUPTURA DE METAL SÓLIDO DE ACCIÓN DIRECTA	61
FIGURA 20.1 DISCO DE RUPTURA ACCIÓN DIRECTA	61
FIGURA 21 DISCO DE RUPTURA RANURADO DE ACCIÓN DIRECTA	62
FIGURA 21.1 DISCO DE RUPTURA ACCIÓN DIRECTA	62
FIGURA 22 DISCO DE RUPTURA COMPUESTO DE ACCIÓN DIRECTA	63
FIGURA 22.1 DISCOS DE RUPTURA ACCIÓN INVERSA	63
FIGURA 23 DISCO DE RUPTURA ACCIÓN INVERSA CON CUCHILLAS	64
FIGURA 23.1 DISCO DE RUPTURA DE GRAFITO	65
FIGURA 24 DISCO DE RUPTURA RANURADO DE ACCIÓN INVERSA	66
FIGURA 24.1 ANILLO METÁLICO (BLINDAJE)	66
FIGURA 25 DISCO DE RUPTURA DE GRAFITO	67

FIGURA 26 PARÁMETRO DE APLICACIÓN DEL DISCO DE RUPTURA SUPONIENDO QUE NO HAY CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA	70
FIGURA 27 TIPOS COMUNES DE RANGOS DE FABRICACIÓN Y MARCA DE PRESIÓN DE ROTURA CORRESPONDIENTE	71
FIGURA 28 PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL DISCO DE RUPTURA CON COTRAPRESIÓN SUPERPUESTA	74
FIGURA 29 VÁLVULA DE PASADOR DE PARDEO	75
FIGURA 30 FACTOR DE CORRELACIÓN DE CONTRAPRESIÓN KB, PARA PRV CON RESORTE DE EQUILIBRIO (VAPOR Y GASES)	83
FIGURA 31 FACTOR DE CORRECCIÓN DE CAPACIDAD KW, DEBIDO A LA CONTRAPRESIÓN EN PRV BALANCEADA CON RESORTE EN SERVICIO DE LÍQUIDO	84
FIGURA C.1 CORRELACIÓN PARA FLUJO CRÍTICO DE LA BOQUILLA DE LOS SISTEMAS DE TAPAJUNTAS Y SIN TAPAS	102
FIGURA 32 CARÁTULA DEL SIMULADOR RELIEF	111
FIGURA 33 APERTURA DE LA PANTALLA DE INICIO	112
FIGURA 34 PANTALLA DE INICIO	113
FIGURA 35 SECCIÓN DEL BOTÓN 1 (INGENIERÍA DE PROCESOS)	114
FIGURA 36 SECCIÓN DEL BOTÓN 2 (BALANCE DE MASA)	114
FIGURA 37 SECCIÓN DEL BOTÓN 3 (CÁLCULO DE LA PRV)	115
FIGURA 38 SECCIÓN DEL BOTÓN 3 CÁLCULO DE LA PRV	117
FIGURA 39 SECCIÓN DEL BOTÓN 3 CÁLCULO DE LA PRV MOSTRANDO LA VENTANA DEL SISTEMA DE DISEÑO Y CONDICIONES DE SRVICIO	118
FIGURA 40 SECCIÓN DEL BOTÓN 3 CÁLCULO DE LA PRV	118
FIGURA 41 FRAGMENTO EXCEL 1	119
FIGURA 42 FRAGMENTO EXCEL 2	120
FIGURA 43 FRAGMENTO EXCEL 3	121
FIGURA 44 DETERMINAR SI ES FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO	123
FIGURA 45 VENTANA TIPO DE FLUJO PARA CÁLCULO DE FLUX DE MASA Y ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA DE LA PRV	124
FIGURA 46 VENTANA DE CUADROS DE RESULTADOS	125
FIGURA 47 VENTANA PANTALLA DE INICO (1)	129
FIGURA 48 INGRESO DE DATOS (1)	130
FIGURA 49 INGRESANDO DATOS EN VENTANA DE DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV (1)	130
FIGURA 50 MUESTRA DE LA VENTANA “TIPO DE FLUJO PARA CÁLCULO DE FLUZ DE MASA Y ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA DE LA PRV” (1)	131
FIGURA 51 MUESTRA DE LOS CÁLCULOS FINALES Y EL TIPO DE FLUJO (1)	131
FIGURA 52 VENTANA PANTALLA DE INICO (2)	134
FIGURA 53 INGRESO DE DATOS (2)	135
FIGURA 54 INGRESANDO DATOS EN VENTANA DE DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV (2)	135
FIGURA 55 MUESTRA DE LA VENTANA “TIPO DE FLUJO PARA CÁLCULO DE FLUZ DE MASA Y ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA DE LA PRV” (2)	136



## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 ESTABLECER LÍMITES DE PRESIÓN Y ACUMULACIONES PARA DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN	87
TABLA 2 EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE ALIVIO PARA CONTINGENCIAS OPERATIVAS PARA LA INSTALACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO DE ALIVIO	87
TABLA 3 EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE ALIVIO PARA CONTINGENCIAS OPERATIVAS PARA UNA INSTALACIÓN DE VARIOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO	88
TABLA 4 EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE ALIVIO PARA CONTINGENCIAS DE INCENDIOS PARA LA INSTALACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO DE ALIVIO	89
TABLA 5 MUESTRA DE EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE ALIVIO DE PRESIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE MÚLTIPLES DISPOSITIVOS EN LA QUE LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL PRIMER DISPOSITIVO ES IGUAL AL MAWP DEL RECIPIENTE Y LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL DISPOSITIVO ADICIONAL ES EL 105 % DEL MAWP DEL RECIPIENTE	90
TABLA 6 MUESTRA DE EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE ALIVIO PARA UNA INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO SUPLEMENTARIO EN LO QUE LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL PRIMER DISPOSITIVO (SIN FUEGO) NO EXCEDE EL MAWP DEL RECIPIENTE Y LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL DISPOSITIVO SUPLEMENTARIO ES DEL 110% DEL MAWP DE LA EMBARCACIÓN	90
TABLA C.1 ESCENARIOS DEL ALIVIO DE DOS FASES (LÍQUIDO/VAPOR) PARA UNA VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN (PRV)	94
TABLA C.2 ÁREAS NOMINALES DE ORIFICIOS PARA VÁLVULAS DESIGNADAS POR MEDIO DE LETRAS	105
TABLA 7 CÁLCULOS DE LA PRV	122
TABLA 8 COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL ESTÁNDAR API 520 PARTE 1; 2019 Y EL SIMULADOR RELIEF CON UNA SOBREPRESIÓN DEL 10% CADA UNA RESPECTIVAMENTE	140
TABLA 9 RESULTADOS DEL SIMULADOR RELEIF CON UNA SOBREPRESIÓN DEL 16%	141
TABLA 10 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	141
TABLA 11 ÁREA DEL ORIFICIO DE LA PRV	132
TABLA 12 ÁREA DEL ORIFICIO DE LA PRV	137



## DEFINICIONES

**ACUMULACIÓN:** Aumento de Presión sobre la MAWP (Presión de Trabajo Máxima Permitida) por sus siglas en inglés, definida por unidades de presión o por porcentaje. Se establecen mediante códigos aplicables para operaciones de emergencia y contingencias de incendios.

**ALETEO:** Movimiento intermitente y muy rápido de las partes móviles de una Válvula de Alivio de Presión (PRV) por sus siglas en inglés. Durante el aleteo, el disco no toca el asiento.

**CONDICIONES DE ALIVIO:** Es la Presión y Temperatura de entrada en un Dispositivo de Alivio de Presión durante una condición de sobrepresión. La Presión de Alivio deberá ser igual a la Presión de Ajuste de la Válvula (o Presión de Ruptura del disco de la PRV), más la sobrepresión. La Temperatura puede ser más alta o más baja de la Temperatura de funcionamiento de la PRV.

**ÁREA DE CORTINA:** El Área de la abertura de descarga, puede ser cilíndrica o cónica de la PRV, creando así la elevación del disco.

**ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA (REQUERIDA) O ÁREA DE ORIFICIO EFECTIVA:** Área nominal utilizada con un Coeficiente de Descarga Efectivo para calcular la capacidad de alivio de una Válvula de Alivio de Presión, utilizando y prediciendo con las ecuaciones de dimensionamiento del (Estándar API 520 9<sup>o</sup> Edición, Julio 2014; Dimensionamiento, Selección e Instalación de Dispositivos de Alivio de Presión; Parte 1 Dimensionamiento y Selección). API 526 proporciona áreas de descarga efectivas para una variedad de tamaños en términos de designaciones de letras, de la "D" a la "T".

**ÁREA DE DESCARGA REAL O ÁREA DE ORIFICIO REAL:** Área de la Válvula de Alivio de Presión (PRV), es el Área Neta Mínima que determina el flujo a través de una válvula.

**ÁREA DE FLUJO NETO MÍNIMO:** El Área Neta calculada después de un estallido completo de un Disco de Ruptura.

**ÁREA DE PERFORACIÓN, ÁREA DE LA BOQUILLA, ÁREA GARGANTA DE LA BOQUILLA O ZONA DE LA GARGANTA:** El Área de flujo de la sección transversal mínima de una boquilla en una Válvula de Alivio de Presión.

**CAPACIDAD DE ALIVIO NOMINAL:** Es la base para la aplicación de un Dispositivo de Alivio de Presión. Esta capacidad se determina de acuerdo con el código o regulación aplicable y es proporcionada por el fabricante.

**CAPACIDAD:** Caudal Másico o Volumétrico de sustancia a aliviar por un dispositivo de seguridad. Puede ser la capacidad requerida por los escenarios de sobrepresión o la capacidad disponible de la válvula.

**COEFICIENTE DE DESCARGA:** La relación entre el caudal másico de una válvula y el de una boquilla ideal. El coeficiente de descarga se utiliza para calcular el flujo a través de un dispositivo de alivio de presión.

**COEFICIENTE DE DESCARGA EFECTIVO:** Valor Nominal utilizado con un área de descarga efectiva para calcular la capacidad de alivio de una válvula de alivio de presión. Válvula según las ecuaciones de dimensionamiento preliminares.

**COEFICIENTE NOMINAL DE DESCARGA:** Un valor utilizado con el área de descarga real para calcular la capacidad de flujo nominal de una válvula de alivio de presión. El coeficiente nominal de descarga de una válvula de alivio de presión se determina de acuerdo con el código o reglamento aplicable.

**CONTRAPRESIÓN ACUMULADA:** El aumento de presión en la salida de un dispositivo de alivio de presión que se desarrolla como resultado del flujo después de que se abre el dispositivo de alivio de presión.

**CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA:** La presión estática que existe en la salida de un dispositivo de alivio de presión en el momento en que se requiere que el dispositivo funcione. La contrapresión superpuesta es el resultado de la presión en el sistema de descarga proveniente de otras fuentes y puede ser constante o variable.

**CONTRAPRESIÓN:** La presión que existe en la salida de un dispositivo de alivio de presión como resultado de la presión en el sistema de descarga. La contrapresión es la suma de las contrapresiones superpuestas y acumuladas.

**DISCO DE RUPTURA QUE NO SE FRAGMENTA:** Un disco de ruptura diseñado y fabricado para instalarse antes de otros componentes de tubería. Los discos de ruptura que no se fragmentan no afectan la función de las válvulas de alivio de presión cuando el disco se rompe.

**DISCO DE RUPTURA:** Elemento sensible a la presión y a la temperatura que contiene la presión de un dispositivo de disco de ruptura.

**DISPOSITIVO ACCIONADO POR CLAVIJA:** Un dispositivo de alivio de presión sin reconexión accionado por presión estática y diseñada para funcionar doblando o rompiendo un pasador que sostiene un pistón o un tapón en su lugar. Al doblarse o romperse el pasador, el pistón o el obturador se mueve instantáneamente a la posición completamente abierta.

**DISPOSITIVO DE ALIVIO DE PRESIÓN SIN RECONEXIÓN:** Un dispositivo de alivio de presión que permanece abierto después de la operación. Puede proporcionarse un medio de reajuste manual.

**DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA:** Un dispositivo de alivio de presión de no reconexión accionado por presión diferencial estática entre la entrada y la salida del dispositivo y diseñado para funcionar mediante el estallido de un disco de ruptura. Un dispositivo de disco de ruptura incluye un disco de ruptura y un soporte de disco de ruptura.

**DISPOSITIVO PARA LIBERAR PRESIÓN (PRD):** Un dispositivo accionado por presión estática de entrada y diseñado para abrirse durante una emergencia o condiciones anormales para evitar un aumento de la presión del fluido interno por encima de un valor de diseño especificado. El dispositivo también puede estar diseñado para evitar un vacío interno excesivo. El dispositivo puede ser una válvula de alivio de presión, un dispositivo de alivio de presión que no se reconecta o una válvula de alivio de vacío.

**GAMA DE DISEÑO DE FABRICACIÓN:** El rango de presión en el que se marcará el disco de ruptura. Los rangos de diseño de fabricación suelen ser catalogados por el fabricante como un porcentaje de la presión de rotura especificada. Los rangos de diseño de fabricación catalogados pueden modificarse mediante acuerdo entre el usuario y el fabricante.

**HERVIR A FUEGO LENTO:** El escape audible o visible de fluido comprimido entre el asiento y el disco de una válvula de alivio de presión que puede ocurrir a una presión estática de entrada por debajo de la presión establecida antes de la apertura.

**PRESIÓN DE ALIVIO:** Presión de entrada del dispositivo de alivio de presión en las condiciones de alivio. La presión de alivio es el total de la presión establecida más la sobrepresión.

**PRESIÓN DE APERTURA:** El valor del aumento de la presión estática de entrada en el que hay una elevación medible del disco o en el que la descarga del fluido se vuelve continua, según se determina al ver, sentir u oír.

**PRESIÓN DE CIERRE:** El valor de la presión estática de entrada decreciente en el cual el disco de la válvula restablece el contacto con el asiento o en el cual la elevación se vuelve cero según lo determinado por la vista, el tacto o el oído.

**PRESIÓN DE DISEÑO:** La presión, junto con la temperatura de diseño, se utiliza para determinar el espesor mínimo permisible o por la característica física de cada componente del recipiente según lo determinado por las reglas de diseño del recipiente. El usuario selecciona la presión de diseño para proporcionar un margen adecuado por encima de la presión más severa esperada durante el funcionamiento normal a una temperatura coincidente. Es la presión especificada en la orden de compra. Esta presión puede usarse

en lugar del MAWP en todos los casos en los que no se ha establecido el MAWP. La presión de diseño es igual o menor que la MAWP.

**PRESIÓN DE PRUEBA DE FUGAS:** La presión estática de entrada especificada a la que se realiza una prueba de fugas en el asiento.

**PRESIÓN DE PRUEBA DIFERENCIAL EN FRÍO (CDTP):** La presión a la que se ajusta una válvula de alivio de presión para que se abra en el banco de pruebas. El CDTP incluye correcciones para las condiciones de servicio de contrapresión o temperatura o ambas.

**PRESIÓN DE ROTURA ESPECIFICADA:** La presión de rotura especificada por el usuario. La presión de ruptura marcada puede ser mayor o menor que la presión de ruptura especificada, pero debe estar dentro del rango de diseño de fabricación. Se advierte al usuario que considere el rango de diseño de fabricación, la contrapresión superpuesta y la temperatura especificada al determinar una presión de explosión especificada.

**PRESIÓN DE ROTURA MARCADA O PRESIÓN DE ROTURA NOMINAL:** La presión de ruptura establecida por pruebas para la temperatura especificada y marcada en la etiqueta del disco por el fabricante. La presión de rotura marcada puede ser cualquier presión dentro del rango de diseño de fabricación a menos que el cliente especifique lo contrario. La presión de ruptura marcada se aplica a todos los discos de ruptura del mismo lote.

**PRESIÓN DE ROTURA:** El valor de la presión estática aguas arriba menos el valor de la presión estática aguas abajo justo antes de que el disco explote. Cuando la presión aguas abajo es atmosférica, la presión de ruptura es la presión manométrica estática aguas arriba.

**PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMITIDA (MAWP):** La presión manométrica máxima permitida en la parte superior de un recipiente terminado en su posición de funcionamiento normal a la temperatura coincidente designada especificada para esa presión. La presión es el menor de los valores para la presión interna o externa según lo determinado por las reglas de diseño del recipiente para cada elemento del recipiente utilizando el espesor nominal real, sin incluir el espesor de metal adicional permitido para la corrosión y cargas distintas de la presión. El MAWP es la base para el ajuste de presión de los dispositivos de alivio de presión que protegen el recipiente. El MAWP es normalmente mayor que la presión de diseño, pero puede ser igual a la presión de diseño cuando las reglas de diseño se utilizan solo para calcular el espesor mínimo de cada elemento y no se realizan cálculos para determinar el valor del MAWP.

**PRESIÓN MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO:** La presión máxima esperada durante el funcionamiento normal del sistema.

**PURGA:** Diferencia entre la presión de ajuste y la presión de cierre de una válvula limitadora de presión, expresada como porcentaje de la presión de ajuste o en unidades de presión.

**RELACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE UN DISCO DE RUPTURA:** La relación entre la presión máxima de funcionamiento del sistema y la presión asociada con un disco de ruptura. Para presiones de rotura marcadas superiores a 40 psi, la relación de funcionamiento es la relación entre la presión de funcionamiento máxima del sistema y la presión de rotura marcada por el disco. Para presiones de ruptura marcadas entre 15 psi y 40 psi, la relación de operación es la relación entre la presión de operación máxima del sistema y la presión de ruptura marcada menos 2 psi. Para presiones de rotura marcadas inferiores a 15 psi, la relación de funcionamiento debe determinarse consultando al fabricante.

**RELACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE UNA VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN:** La relación entre la presión máxima de funcionamiento del sistema y la presión establecida.

**SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESIÓN:** Los diseños actuales de plantas de procesos incluyen el uso de sistemas de alivio de presión (normalmente válvulas de seguridad y/o discos de ruptura) como medida para asegurar el correcto funcionamiento en condiciones normales y también anormales de equipos críticos. Es importante recordar que un sistema de alivio de presión es un sistema de seguridad destinado a proteger equipos presurizados en los que un error puede tener consecuencias catastróficas.

**SOBREPRESIÓN:** La presión aumenta por encima de la presión establecida del dispositivo de alivio. La sobrepresión se expresa en unidades de presión o como un porcentaje de la presión establecida. La sobrepresión es lo mismo que la acumulación solo cuando el dispositivo de alivio está configurado para abrirse en la MAWP del recipiente.

**SOPORTE DE DISCO DE RUPTURA:** La estructura que encierra y sujeta el disco de ruptura en su posición. Algunos discos están diseñados para instalarse entre bridas estándar sin soportes.

**TAMAÑO DE ENTRADA:** El tamaño nominal de la tubería (NPS) del dispositivo en la conexión de entrada, a menos que se indique lo contrario.

**TAMAÑO DE SALIDA:** El NPS del dispositivo en la conexión de descarga, a menos que se indique lo contrario.

**TEMPERATURA DE DISCO ESPECIFICADA:** La temperatura del disco cuando se espera que explote. La temperatura del disco especificada es la temperatura que usa el fabricante para establecer la presión de rotura marcada. La temperatura del disco especificada rara vez es la temperatura de diseño del recipiente y puede que ni siquiera sea la temperatura de funcionamiento o la temperatura de alivio, dependiendo de la configuración del sistema de alivio.

**TOLERANCIA A LA PRESIÓN DE ROTURA:** La variación alrededor de la presión de ruptura marcada a la temperatura especificada del disco en la que un disco de ruptura debe reventar.

**VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN (PRV):** Un Dispositivo de Alivio de Presión diseñado para abrir y aliviar el exceso de presión y para volver a cerrar. Término que se utiliza para denominar indistintamente y en forma general a una Válvula de Seguridad, Válvula de Alivio, Válvula de Seguridad-Alivio y Válvulas Operadas por Piloto.

**VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN CONVENCIONAL:** Válvula de Alivio de Presión cargada por resorte cuyas características operativas se ven directamente afectadas por cambios en la contrapresión.

**VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN EQUILIBRADA:** Válvula de Alivio de Presión cargada por resorte que incorpora un fuelle u otro medio para minimizar el efecto de la contrapresión en las características operativas de la válvula.

**VÁLVULA DE ALIVIO:** Válvula de alivio de presión cargada por resorte accionada por la presión estática aguas arriba de la válvula. La válvula se abre normalmente en proporción al aumento de presión sobre la presión de apertura. Una válvula de alivio se usa principalmente con fluidos incompresibles.

**VÁLVULA DE SEGURIDAD:** Válvula de alivio de presión cargada por resorte accionada por la presión estática aguas arriba de la válvula y caracterizada por una rápida apertura o acción de pop. Normalmente se utiliza una válvula de seguridad con fluidos compresibles.

**VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO (SERVICIO DE FLUJO A DOS FASES):** Válvula de Alivio de Presión cargada con resorte que se puede usar como válvula de seguridad y a la vez como de alivio dependiendo de las aplicaciones del proceso. Este tipo de Válvulas de Alivio de Presión, en específico trabajan con fluidos compresibles e incompresibles al mismo tiempo.

**VÁLVULA OPERADA POR PILOTO:** Válvula de Alivio de Presión en la que el dispositivo de alivio principal o la válvula principal se combina y se controla mediante una válvula de presión auxiliar auto activada (piloto).

**VÁLVULA MODULADORA DE ALIVIO DE PRESIÓN:** Válvula de Alivio de Presión que se abre y fluye en proporción a la presión de entrada para algunas o todas las partes del rango de operación de la válvula, desde la presión de ajuste hasta la sobrepresión en elevación completa.



## RESUMEN

El siguiente presente explica el desarrollo de un Software para el DIMENSIONAMIENTO exclusivo de Válvulas de Seguridad-Alivio (que son para servicio de flujo a dos fases), la parte técnica-teórica principal del Software, es el manejo de Gases, Vapores y Líquidos (Cálculo de Válvulas que trabajan con fluidos compresibles e incompresibles), el Software es nombrado (RELIEF); la programación es el dimensionamiento de instrumentos para Sistemas de Alivio de Presión, basado en la Norma Oficial Mexicana (NOM-093-SCFI-1994; Válvulas de Relevo de Presión (Seguridad, Seguridad-Alivio y Alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce) y del Estándar API 520 9° Edición, Julio 2014; Dimensionamiento, Selección e Instalación de Dispositivos de Alivio de Presión; Parte 1 Dimensionamiento y Selección.

En el Alivio de Presión a dos fases, siempre presenta una mezcla de líquido y vapor en la entrada de la Válvula de Alivio de Presión y a través de toda la estructura interna, dicho esto, se predice que este factor se presenta en todos los escenarios para flujo a dos fases. Las determinaciones de RELIEF, son que de acuerdo a lo dicho, su programación se basa en el MÉTODO DE LEUNG OMEGA (MÉTODO DE DOS PUNTOS), que a su vez es una versión más eficaz del MÉTODO DE EQUILIBRIO HOMOGÉNEO. Que asume que la mezcla de fluidos se comporta como un fluido monofásico en el supuesto equilibrio térmico y mecánico. El parámetro ( $\omega$ ), es calculado con volúmenes específicos de los fluidos involucrados. Es apropiado para fluidos tanto por encima como por debajo del punto crítico termodinámico en el flujo de condensación de dos fases.

Los Dispositivos de Alivio de Presión representan la última barrera ante la ruptura catastrófica de un equipo debido a un exceso de presión en su interior, en estos dispositivos se confía gran parte de la protección contra los escenarios de sobrepresión que se pueden dar en la instalación. Las especificaciones del simulador están especificadas hacia la Industria Petrolera. El correcto dimensionamiento, selección y mantenimiento generan Sistemas de Alivio de Presión confiables, seguros y eficaces.

El simulador RELIEF está programado en el lenguaje Visual Basic Excel ya que cuenta con una secuencia correcta, analítica y prudente en el diseño de Válvulas de Seguridad-Alivio. Compuesto por las referencias bibliográficas ya mencionadas; Con algoritmos matemáticos se desarrollan ecuaciones de segundo grado con dos incógnitas, métodos numéricos y relaciones de diseño para Válvulas de Alivio de Presión Es muy importante reconocer las posibilidades del simulador RELIEF, su modo de operar conlleva tener solamente el correcto flux a aliviar y el área de descarga efectiva requerida válvula. RELIEF requiere una serie correcta de especificaciones de o de los recipientes que necesitan Válvulas de Seguridad-Alivio, así como también como las características físicas y químicas de los fluidos que se encuentran en dichos recipientes.

## INTRODUCCIÓN

Los dispositivos de alivio de presión, desempeñan un rol crítico en la seguridad de cualquier instalación de proceso que trabaje a presiones diferentes a la atmosférica (superior), esto se acentúa cuando dichas instalaciones además trabajan con sustancias peligrosas como sustancias inflamables, tóxicas o nocivas. Por dispositivos de alivio de presión se entienden diferentes tipos de dispositivos como válvulas de alivio, válvulas de seguridad, válvulas de seguridad-alivio, válvulas operadas por piloto y discos de ruptura. Los dispositivos de alivio de presión protegen un recipiente solo contra sobrepresión; no protegen contra fallas estructurales cuando la embarcación está expuesta a temperaturas extremadamente altas, como durante un incendio.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes que tienen como finalidad establecer las características que deben reunir los procesos o servicios cuando estos puedan construir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana; así como aquellas relativas a terminología y las que se refieran a su cumplimiento y aplicación. Las NOM en materia de Prevención y Promoción de la Salud, una vez aprobadas por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Prevención y Control de Enfermedades (CCNNPCE) son expedidas y publicadas en el Diario Oficial de la Federación y, por tratarse de materia sanitaria, entran en vigor al día siguiente de su publicación. Las NOM deben ser revisadas cada 5 años a partir de su entrada en vigor. El CCNNPCE deberá de analizar y, en su caso, realizar un estudio de cada NOM, cuando su periodo venza en el transcurso del año inmediato anterior y, como conclusión de dicha revisión y/o estudio podrá la modificación, cancelación o ratificación de las mismas.

API (American Petroleum Institute), Instituto Americano del Petróleo por sus siglas en inglés. El Estándar API 520 9ª Edición, Julio 2014; Dimensionamiento, Selección e Instalación de Dispositivos de Alivio de Presión; Parte 1 Dimensionamiento y Selección, está destinado a complementar la información contenida en la Sección VIII — Recipientes a presión, del Código ASME para calderas y recipientes a presión. Las recomendaciones presentadas en esta publicación no pretenden reemplazar las leyes y regulaciones aplicables. Se muestra esta idea ya que RELEIF cuenta con una estructura basada en el API 520.

La respuesta de los cálculos de RELIEF es la determinación de dimensionamiento de Válvulas de Seguridad-Alivio, dispositivo de alivio de presión usado en la mayoría de los equipos de refinerías y plantas químicas es del tipo de válvula de seguridad cargada por resorte, guiada por el tope, de alto levantamiento y de modelo de boquilla ilustrado en la Figura 1. El resorte es usualmente externo y empotrado en un bonete para su protección contra el clima. La cámara del bonete se ventea a través de un pasaje interno a la salida de la válvula.

La acción de la válvula a medida que sube la presión desde su valor inicial de operación normal (asumiendo que no existe contrapresión) se describe a continuación. A una presión por debajo de la presión de ajuste (típicamente 93% a 98% de la presión de ajuste dependiendo del mantenimiento de la válvula y su condición) puede ocurrir un ligero escape de presión como una sudoración entre el asiento de la válvula y el disco. Esto se debe al progresivo decremento de la fuerza neta de cierre que actúa sobre el disco (presión del resorte menos la presión interna).

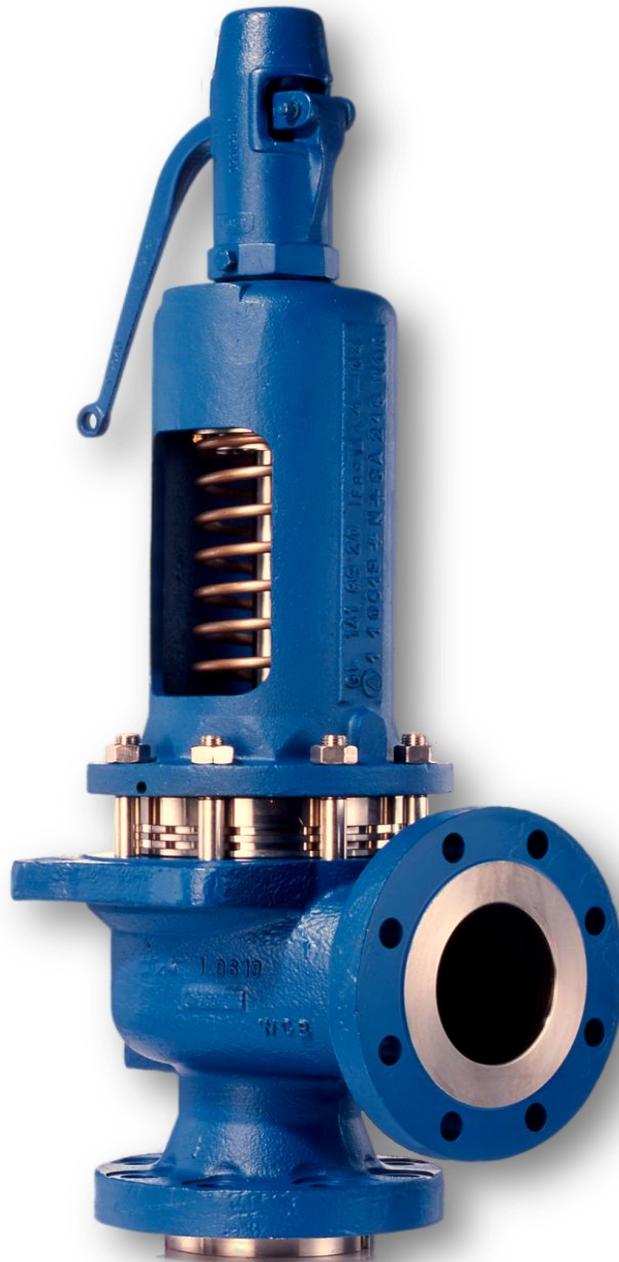
La programación de RELIEF, que resalta en esta tesis es que se basa fundamentalmente el Método Leung Omega, que es una versión del Método de Equilibrio Homogéneo, el parámetro omega se determina utilizando los datos de volumen específicos obtenidos utilizando datos de propiedades del fluido o cálculos rápidos para una mezcla en las condiciones de estancamiento y una presión adicional (método de dos puntos).

Por lo tanto este trabajo expone y hace énfasis nuevamente en las válvulas de seguridad-alivio, desarrollando los algoritmos matemáticos necesarios para la solución del problema de dimensionamiento de las mismas, contemplando al igual el Método Omega para flujo a dos fases. RELIEF, es simulador confiable y eficaz.



# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES



## **1.1— NECESIDAD DE SIMULADORES EN EL DESARROLLO DE DISEÑOS CONFIABLES DE VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN**

Tanto las Ingenieras Químicas como los Ingenieros Químicos cuentan en su formación profesional una gran capacidad de resolver retos en la Industria, uno de esos retos, es el desarrollo de técnicas, métodos, algoritmos etc.; incluyendo en particular la programación de simuladores, que ayuden al Ingeniero al diseño ya sea de Recipientes, Tanques, Dispositivos de Alivio, Instrumentos etc. De esta manera esta tesis presenta la predicción de dimensionamiento en referencia a Válvulas de Seguridad-Alivio.

El Ingeniero debe de contar con este tipo de herramientas fundamentales, a parte de los que le proporcionen, ya que son pequeños filtros pero con demasiada importancia, ya que se deben de cometer el mínimo error posible en los cálculos para el dimensionamiento de las Válvulas de Seguridad-Alivio.

Las Válvulas de Seguridad-Alivio son un elemento básico en la seguridad de procesos, siendo además elementos críticos en los que se confía una gran parte de la protección de un equipo ante la sobrepresión, en conjunto con el resto de salvaguardadas que puedan existir (funciones instrumentadas, alarmas, etc.). Teniendo en cuenta esto resulta impactante estudiar los resultados de informes que predigan una actividad mínima y una correcta calibración y efectividad.

El reconocer que estas válvulas son parte de un Sistema de Alivio de Presión, son la última capa de protección de un recipiente a presión, que genera una liberación de una sobrepresión y así a su vez evita un accidente donde se pierdan vidas humanas. Las mediciones de estos dispositivos implican un ahorro en costos de diseño e instalación de las mismas, ya que el ingeniero químico tiene en su formación técnicas confiables y económicas para este tipo de retos.

El cálculo se puede basar en un programa computacional capaz de desarrollar resultados para proyectos de ingeniería, por esta parte el desarrollo de programación tiene la visión de ahorro económico ya que la mayoría de los previos diseños de las válvulas de relevo de presión están sobre diseñados. Los algoritmos desarrollados en el simulador generan Presiones de Alivio, Contra Presión Acumulada y tantos más elementos necesarios para Diseño de Relevo de Presión. La ventaja técnica es la actualización de la información detallada y generada por experiencia laboral de distintos ingenieros en el ámbito de diseño de válvulas de relevo de presión a flujo bifásico, expuesta en la Norma Oficial Mexicana (NOM-093-SCFI-1994; Válvulas de Relevo de Presión (Seguridad, Seguridad-Alivio y Alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce). También del Estándar API 520 9ª Edición, Julio 2014; Dimensionamiento, Selección e Instalación de Dispositivos de Alivio de Presión; Parte 1 Dimensionamiento y Selección.

## 1.2—PROBLEMÁTICA

La solución de cualquier problema de flujo de fluidos requiere un conocimiento previo de las propiedades físicas y químicas del fluido en cuestión. Pero también los valores no son exactos, sus propiedades físico químicas de los fluidos son muy variables y más cuando se trata de dos fases a través de una PRV, afectan a la dinámica del mismo, principalmente la viscosidad y el peso específico. De acuerdo a ello, por lo tanto para dimensionar las Válvulas de Seguridad-Alivio, se requiere de estos parámetros y considerar cautelosamente el ingreso de estos caracteres a cualquier simulador. Actualmente las ecuaciones matemáticas para el dimensionamiento de cualquier PRV, no cuentan con una efectividad al 100%, sin embargo hay recomendaciones como API ya las NOM son Normas Oficiales y se deben de cumplir al pie de la letra, documentos aceptables para dicho dimensionamiento.

La variedad en diseños de válvulas dificultan una clasificación completa, si las válvulas se clasifican según su resistencia que ofrecen al flujo, como las que presentan un paso directo del flujo, las de alta y baja presión, la manera que actúan ante una sobre presión, el modo de acción de apertura, la calibración entre otras.

La base de todo diseño es conocer la física del problema y las especificaciones tanto físicas como químicas de los fluidos involucrados. La terminología es muy importante, el reconocimiento y particularidad de los tipos de válvulas de relevo de presión hacen aún más un buen diseño. Se cuentan con una diversidad de estas válvulas, 1) Válvula de Seguridad, 2) Válvula de Alivio, 3) Válvula de Seguridad-Alivio 4) Válvulas Operadas por Piloto. La Contrapresión y la Sobre Presión son al igual dos términos elementales.

La información de este tema no se encuentra disponible fácilmente al público en general, lo cual genera una dificultad al adquirir literatura de válvulas de relevo de presión, al igual de los Ingenieros expertos son escasos. La programación de este simulador llamado RELIEF cuenta con información, algoritmos matemáticos e ingenieros expertos en el tema que ayudaron a la programación de RELIEF.

### 1.3— FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El gran reto que es desarrollar un Simulador para dimensionamiento de Válvulas de Seguridad-Alivio (válvulas que trabajan para fluidos compresibles e incompresibles), a pesar de la escases de información y de personas que conozcan del tema, constituye una tarea muy fructífera el este tipo de programaciones, por lo tanto es avanzar en el conocimiento y llevando a cabo una gran recopilación de información, para así construir un marco teórico-práctico más detallado y más predecible.

En el contexto del Diseño de Válvulas de Alivio de Presión se cuenta con una tasa baja de información teórica-práctica, también de Ingenieros que cuenten con experiencia y conocimientos confiables. Las Válvulas de Alivio de Presión, son un lazo de seguridad muy importante en las Industrias, ya que estos instrumentos que garantizan la seguridad integral de vidas humanas y de equipos de la industria petrolera.

El Estándar del Instituto Americano del Petróleo; Dimensionamiento, Selección e Instalación de Dispositivos de Alivio de Presión Parte I Estándar API 520. Novena Edición Julio del 2014 y Norma Oficial Mexicana (NOM-093-SCFI-1994; Válvulas de Relevo de Presión (Seguridad, Seguridad y Alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce), Dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión, es el resultado de varios años de trabajo de ingenieros de la industria del petróleo. Estos documentos, es el resultado de varios años de trabajo de ingenieros de la industria del petróleo. Estos dos documentos son los que se basan el Simulador RELIEF, Documentos confiables.

Considerando un gran reto el poder programar un sistema de diseño de seguridad para la Industria Petrolera. Finalmente se programó con el método Omega el simulador RELIEF, método presentado en esta sección se puede utilizar para dimensionar Válvulas de Seguridad-Alivio (estas válvulas trabajan con fluidos compresibles e incompresibles al mismo tiempo), que manejan flujo con o sin tapajuntas. Este método también es apropiado para fluidos tanto por encima como por debajo del punto crítico termodinámico en el flujo de condensación de dos fases.

## 1.4—ALCANCE

RELIEF, se aplica al dimensionamiento y selección de los dispositivos de alivio de presión, utilizados en refinerías, instalaciones e industrias; para equipos que tienen una presión de trabajo máxima permitida (MAWP) de 15 psig (103kPa) o más. Los dispositivos de alivio de presión, están destinados a proteger recipientes a presión sin fuego y equipos relacionados contra la sobrepresión de las contingencias de funcionamiento y de incendio.

El parámetro omega se determina utilizando los datos de volumen específicos obtenidos utilizando datos de propiedades del fluido o cálculos rápidos para una mezcla en las condiciones de estancamiento y una presión adicional (método de dos puntos).

En este apartado se aplica el estudio del problema, con más especificación es el diseño de válvulas de alivio de presión a flujo a dos fases, como ya mencionados anteriormente la información es escasa en estos temas por lo que es un reto realizar un simulador para dicho diseño. Con base a la información ya obtenida, las ecuaciones ya empleadas en el simulador cuentan con una certificación y confiabilidad. Ya que el campo de aplicación solo lo manejan una serie de Ingenieros expertos, con amplia experiencia en la Industria. El simulador RELIEF contempla una serie de ecuaciones matemáticas de diseño con modelos de diseños reales y confiables.

Las ventajas son:

- 1) No hay sobre diseño
- 2) Costo económico real
- 3) Flux de Masa de Alivio muy cercano al real y el Área de Descarga Requerida Efectiva
- 4) Cuenta con las ecuaciones matemáticas actualizadas

El lenguaje de Microsoft Visual Basic (Excel), es el empleado en el simulador RELIEF donde genera resultados con las siguientes características:

Escenario para flujo a dos fases (fluidos compresibles e incompresibles)

- a) Método Leung Omega (Dos Puntos) derivado del Método Equilibrio Homogéneo
- b) Dimensiones reales en Flujo real de Relevo
- c) Dimensiones reales en el Área real del orificio de la Válvula
- d) Capacidad de utilizar o no fuelle en la válvula
- e) Flexibilidad de ingresar datos
- f) Cuenta con Resultados de Ejemplos de integración
- g) Cuenta con parámetros aceptables
- h) Incorporación de Discos de Ruptura en conjunto con las Válvulas de Alivio de Presión

## 1.5—LIMITACIONES

El simulador RELEIF está inspirado en la información contenida en la Norma Oficial Mexicana (NOM-093-SCFI-1994; Válvulas de Relevo de Presión (Seguridad, Seguridad-Alivio y Alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce). Y el Estándar API 520 9° Edición, Julio 2014; Dimensionamiento, Selección e Instalación de Dispositivos de Alivio de Presión; Parte 1 Dimensionamiento y Selección, no asumen ninguna responsabilidad para cualquier uso, o los resultados de dicho uso, de cualquier información o proceso. Las publicaciones de API se publican para facilitar la amplia disponibilidad de ingeniería y operación aprobadas y prácticas sólidas. Estas publicaciones no pretenden obviar la necesidad de aplicar un buen criterio de ingeniería.

Por lo tanto el simulador RELIEF aparece con limitaciones en:

- a) No protege recipientes contra fallas estructurales cuando la embarcación este expuesta a temperaturas extremadamente altas como incendios
- b) No protege tanques atmosféricos y recipientes de baja presión, cubiertos en el Estándar API 2000, recipientes a presión utilizados en el transporte de producto a granel o contenedores de envío
- c) No incluye reglas para la protección contra la sobrepresión de recipientes encendidos, están en el ASME BPVC, SECCIÓN I
- d) Simulador RELIEF solo hace el dimensionamiento de Válvulas de Alivio de Presión (Válvulas de Seguridad-Relevo) a flujo a dos fases Líquido/Gas-Vapor
- e) El Estándar API 520 Parte 1 proporciona recomendaciones para Válvulas de Alivio de Presión

Con respecto a circunstancias particulares, se deben revisar las leyes y regulaciones locales, estatales y federales; Poniendo en énfasis que el simulador RELIEF, solo hace el dimensionamiento de válvulas de relevo de presión a flujo (Válvulas de Seguridad-Relevo) a dos fases.

El Estándar API 521; expone información sobre formas adecuadas de reducir la sobrepresión y restringir la entrada de calor por incendios.

## **1.6—JUSTIFICACIÓN**

La aplicación del simulador RELIEF que presenta esta tesis, será muy eficaz para el dimensionamiento, análisis, criterio y toma de decisiones para Válvulas de Seguridad-Alivio; por lo tanto integra cálculos confiables, para ser considerados en los proyectos de la Industria petrolera, evitando así sobre diseños, altos costos de los dispositivos de alivio de presión y altas horas de trabajo.

## **1.7—OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un Software para el Dimensionamiento de Dispositivos de Alivio de Presión; Válvulas de Seguridad-Alivio (en escenario de fluidos compresibles e incompresibles), para Sistemas de Alivio de Presión para la Industria Petrolera.

## **1.8—OBJETIVOS PARTICULARES**

- a) El Diseño de una parte esencial de los Sistemas de Alivio de Presión
- b) Determinar la correlación de flujo a la salida de la Válvula de Seguridad-Alivio para Sistemas Intermitentes y No Intermitentes
- c) Determinar si la Válvula de Seguridad-Alivio es Convencional o Equilibrada con fuelle
- d) Establecer cálculos para el dimensionamiento de Válvulas de Seguridad-Alivio para distintas Sobrepresiones Admisibles
- e) Cálculo de Flux de Masa en operación de la Válvula de Seguridad-Alivio
- f) Cálculo del Área de Descarga Requerida Efectiva de la Válvula de Seguridad-Alivio



# CAPÍTULO 2

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS



## **2.1—SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESIÓN**

Los Sistemas de Alivio de Presión son la última línea de defensa para las plantas de procesos químicos. Tienen un rol vital para resguardar la integridad de los equipos, de las personas y del medio ambiente.

Históricamente, en respuesta a incidentes catastróficos se han tomado medidas de mejora. Por ejemplo, desde hace casi treinta años, la Gestión de Seguridad de Procesos (también conocida por su sigla en inglés: PSM) tomó forma legal en Estados Unidos de América; también muchos otros países acompañan con regulaciones en ese sentido. Aunque se trata de una disciplina amplia, la gestión de seguridad de procesos debe necesariamente considerar los sistemas de alivio de presión. Se requiere poner énfasis en su diseño y mantenimiento, para asegurar que estarán disponibles cuando se les solicite actuar. Sin embargo, y a pesar de su importancia, la gestión de la presión y sus excesos en los equipos de proceso históricamente no ha sido considerada como una prioridad de ingeniería en muchas compañías de todo el mundo; esto ha quedado evidenciado por gran cantidad de fallas y deficiencias detectadas durante auditorías independientes

Los problemas o deficiencias en los sistemas de alivio pueden ser identificados cuando no cumplen con las “reconocidas y generalmente aceptadas las buenas prácticas de ingeniería”, que son criterios que se pueden encontrar en publicaciones de instituciones de prestigio y especializadas, como lo son, entre otras, el DIERS, API o ASME. En particular para la industria del petróleo y petroquímica, los estándares API 520 y 521 reúnen gran cantidad de prácticas recomendadas. Por su parte, el código ASME fija requerimientos estrictos para el diseño, construcción y aplicación de dispositivos.

## **2.2—DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN**

### **2.2.1—VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN (PRV)**

#### **2.2.2—PRV CONVENCIONAL (CON RESORTE)**

Las válvulas de alivio de presión son dispositivos que abren o disparan en el momento en que se encuentran a la sobrepresión determinada, la válvula alivia el exceso de presión por medio de la liberación de un caudal determinado de producto, cuando la presión se restablece a los valores de trabajo normal de operación la válvula cierra. Son dispositivos de apertura y funcionamiento de presión diferencial, es decir, su presión de apertura y caudal de alivio varían en función de la presión en la descarga de la válvula.

Los modos de funcionamiento que pueden presentar las válvulas de alivio de presión son dos:

- **ALIVIO RÁPIDO O POP ACTION:** se caracteriza por una velocidad de apertura rápida hasta conseguir la apertura completa de la válvula y, por lo tanto, la máxima capacidad de alivio. La apertura completa de la válvula se puede dar antes de llegar al valor de sobrepresión de la misma.
- **ALIVIO MODULANTE O PROPORCIONAL:** la apertura de la válvula se realiza de manera proporcional al incremento de presión, la máxima apertura se consigue cuando se alcanza el valor de la sobrepresión.

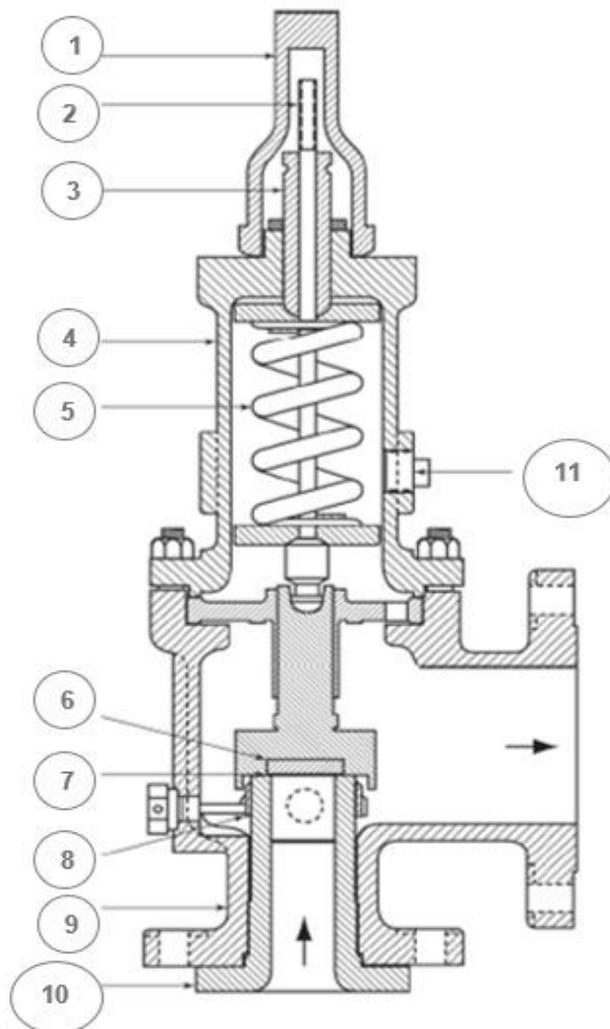
Una PRV convencional, es aquella que se activa con un resorte, está diseñado para abrirse a una presión predeterminada y proteger un recipiente o sistema del exceso de presión al aliviar el fluido de ese recipiente o sistema. La válvula que se muestra en la Figura 4 está disponible en tamaños pequeños, comúnmente utilizados para aplicaciones de válvulas de alivio térmico. Los elementos básicos de una PRV cargada por resorte incluyen una boquilla de entrada conectada al recipiente o sistema a proteger, un disco móvil que controla el flujo a través de la boquilla y un resorte que controla la posición del disco. En condiciones normales de funcionamiento del sistema, la presión en la entrada está por debajo de la presión de ajuste y el disco está asentado en la boquilla evitando el flujo a través de la boquilla.

Las Válvulas de Alivio de Presión cuentan con resorte y se denominan mediante una terminología, como válvulas de seguridad (aplicaciones de servicio de gas / vapor), válvulas de alivio (servicio de líquidos) y válvulas de seguridad-alivio que trabajan a flujo de dos fases (gas-vapor/líquido). Aclarando esta parte, la abreviatura “PRV”, cuenta con una aplicación general para los tres tipos de Válvulas. Por lo que las Válvulas de Seguridad-Alivio, están diseñadas en función de fluidos compresibles y con incompresibles.

Cuando la válvula está cerrada durante el funcionamiento normal, la presión del sistema o del recipiente que actúa contra la superficie del disco de la PRV, esta resistida por la fuerza del resorte de válvula de alivio de presión. A medida que la presión del sistema se acerca a la presión de ajuste de la válvula, la fuerza de asiento entre el disco y la boquilla se acerca a cero.

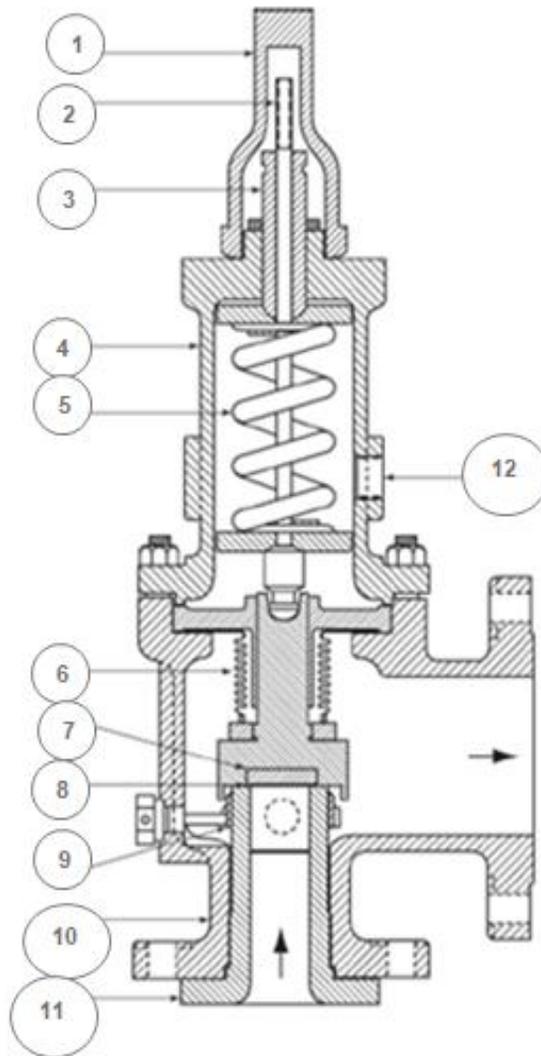
Cuando la presión del recipiente se acerca mucho a la presión establecida, el fluido pasará de manera audible más allá de las superficies de asiento hacia la cámara de agrupamiento. Como resultado de la restricción del flujo entre el soporte del disco y el anillo de ajuste, la presión se acumula en la cámara. Dado que la presión actúa ahora sobre un área más grande, se dispone de una fuerza adicional, comúnmente conocida como fuerza expansiva, para vencer la fuerza del resorte. Al cambiar la posición del anillo de ajuste, la apertura en el orificio anular se puede alterar, controlando así la acumulación de presión en la cámara.

Esta acumulación de presión controlada en la cámara de agrupamiento superará la fuerza del resorte haciendo que el disco se aleje de asiento de la boquilla y la válvula se abrirá.



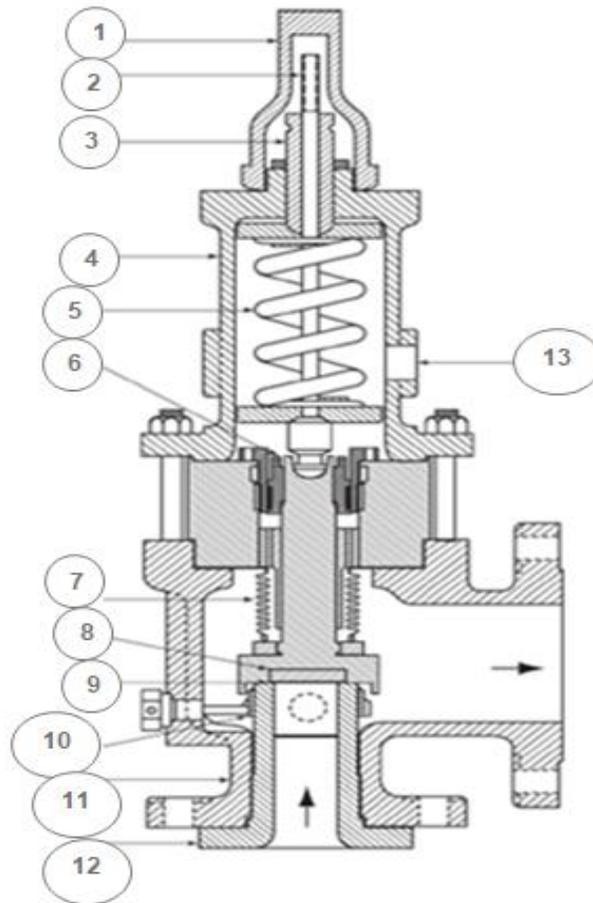
**FIGURA 1—PRV CONVENCIONAL CON UN SOLO ANILLO DE AJUSTE PARA CONTROL DE PURGA**

1. CAPUCHA
2. TALLO, HUSILLO O VÁSTAGO
3. TORNILLO DE AJUSTE
4. BONETE
5. RESORTE
6. DISCO
7. SUPERFICIE DE ASIENTO
8. ANILLO DE AJUSTE
9. CUERPO
10. BOQUILLA
11. VENTEO (TAPADO)



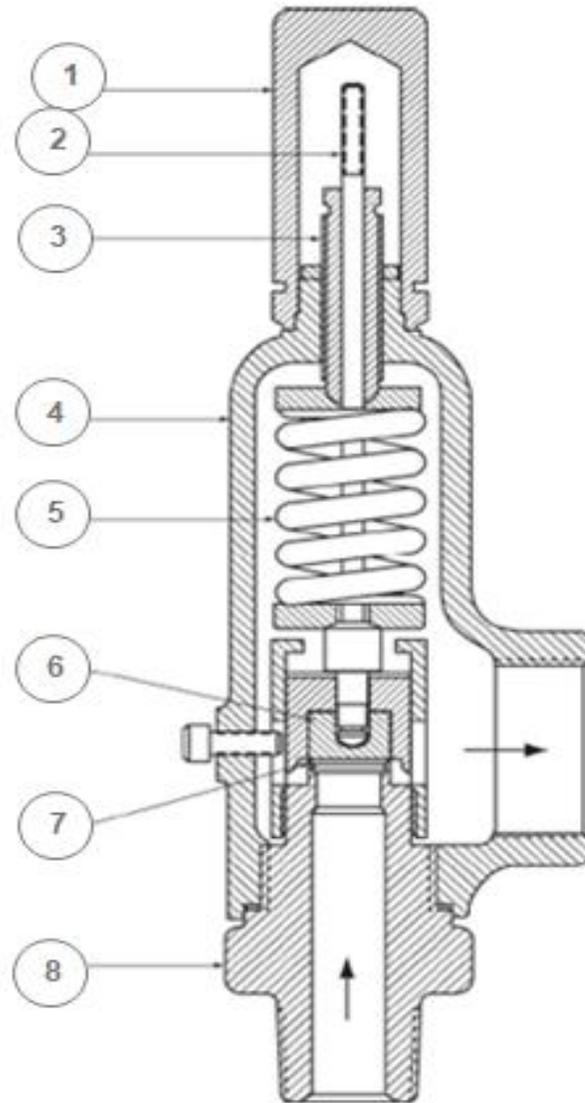
**FIGURA 2—PRV DE FUELLES BALANCEADOS**

1. CAPUCHA
2. TALLO, HUSILLO O VÁSTAGO
3. TORNILLO DE AJUSTE
4. BONETE
5. RESORTE
6. FUELLE
7. DISCO
8. SUPERFICIE DE ASIENTO
9. ANILLO DE AJUSTE
10. CUERPO
11. BOQUILLA
12. VENTEO (TAPADO)



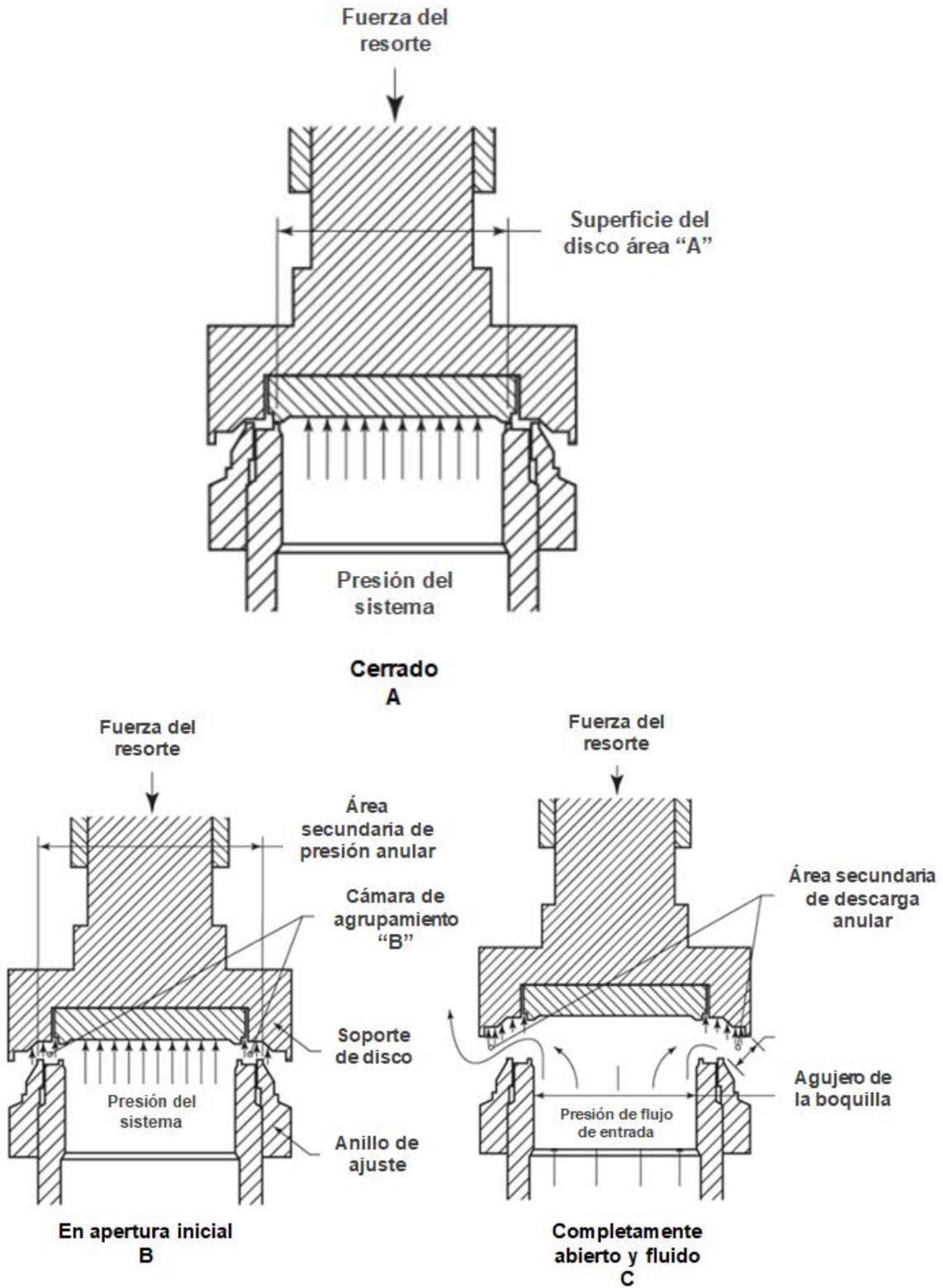
**FIGURA 3—PRV DE FUELLES BALANCEADOS CON UN PISTÓN AUXILIAR EQUILIBRADO**

1. CAPUCHA
2. TALLO, HUSILLO O VÁSTAGO
3. TORNILLO DE AJUSTE
4. BONETE
5. RESORTE
6. PISTÓN EQUILIBRADO
7. FUELLE
8. DISCO
9. SUPERFICIE DE ASIENTO
10. ANILLO DE AJUSTE
11. CUERPO
12. BOQUILLA
13. VENTEO (TAPADO)



**FIGURA 4 —PRV CONVENCIONAL CON CONEXIONES ROSCADAS**

1. CAPUCHA
2. TALLO, HUSILLO O VÁSTAGO
3. TORNILLO DE AJUSTE
4. BONETE
5. RESORTE
6. DISCO
7. SUPERFICIE DE ASIENTO
8. ANILLO DE AJUSTE



**FIGURA 5—SERVICIO DE OPERACIÓN VAPOR-GAS**

Una vez que la válvula se ha abierto, se produce una acumulación de presión adicional. Esto se debe al aumento repentino del flujo y la restricción del flujo a través de otro orificio anular formado entre el borde interior del faldón del soporte del disco y el diámetro exterior del anillo de ajuste. Estas fuerzas adicionales hacen que el disco se levante sustancialmente en el pop action.

El flujo está restringido por la abertura entre la boquilla y el disco hasta que el disco se haya levantado del asiento de la boquilla aproximadamente una cuarta parte del diámetro de la boquilla. Una vez que el disco ha alcanzado este grado de elevación, el flujo es controlado por el área del orificio en lugar del área entre las superficies de asiento.

La válvula se cierra cuando la presión de entrada ha caído lo suficiente por debajo de la presión de ajuste, para permitir que la fuerza de resorte supere la suma de fuerzas. La presión a la que la válvula se reajusta es la presión de cierre. La diferencia entre la presión de ajuste y la presión de cierre es la purga.

La Figura 6 muestra el recorrido del disco desde la presión de ajuste, hasta la máxima presión de alivio, durante el incidente de sobrepresión y hasta la presión de cierre, durante la purga.

### 2.2.3—PRV CON RESORTE DISEÑADAS PARA APLICACIONES DE SERVICIO DE LÍQUIDO

Las válvulas de servicio de líquido no se abren de la misma manera que las válvulas de servicio de vapor, ya que las fuerzas expansivas producidas por el vapor no están presentes en el flujo de líquido. Las válvulas de servicio de líquidos suelen depender de fuerzas reactivas para lograr la elevación.

Cuando la válvula está cerrada, las fuerzas que actúan sobre el disco de la válvula son las mismas que las aplicadas por el vapor hasta que se alcanza un equilibrio de fuerzas y la fuerza neta que mantiene el asiento cerrado se acerca a cero. A partir de este momento, la relación de fuerzas es totalmente diferente.

En la apertura inicial, el líquido que escapa forma una hoja muy delgada de líquido, como se ve en la Figura 7. El elemento (A), que se expande radialmente entre las superficies de asiento. El líquido golpea la superficie de reacción del soporte del disco y se desvía hacia abajo, creando una fuerza reactiva (turbina) que tiende a mover el disco y el soporte hacia arriba. Por lo general, estas fuerzas se acumulan muy lentamente durante el primer 2% a 4% de sobrepresión.

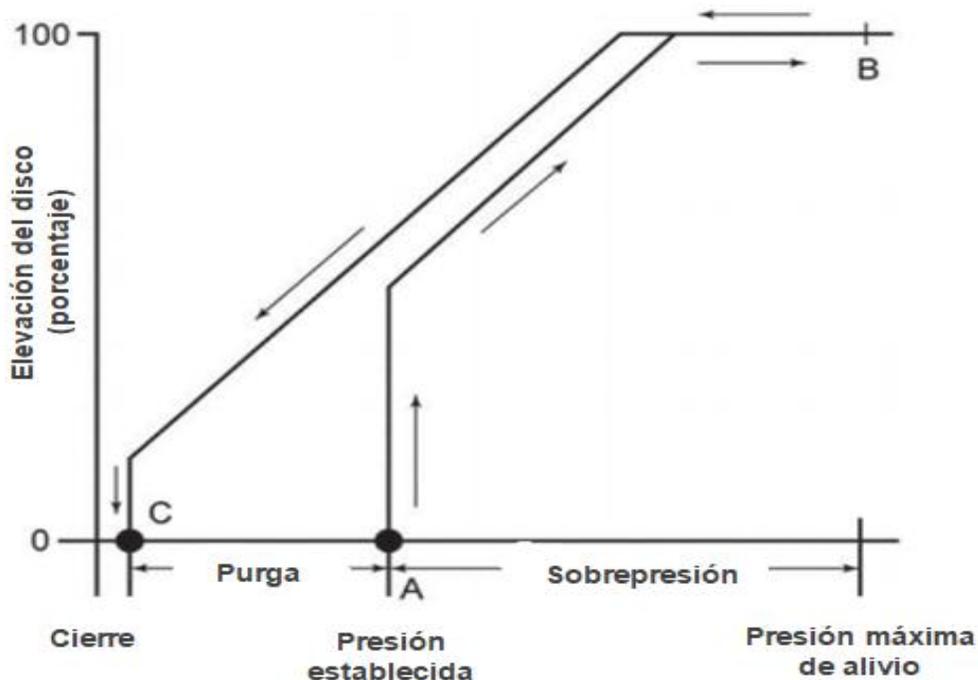
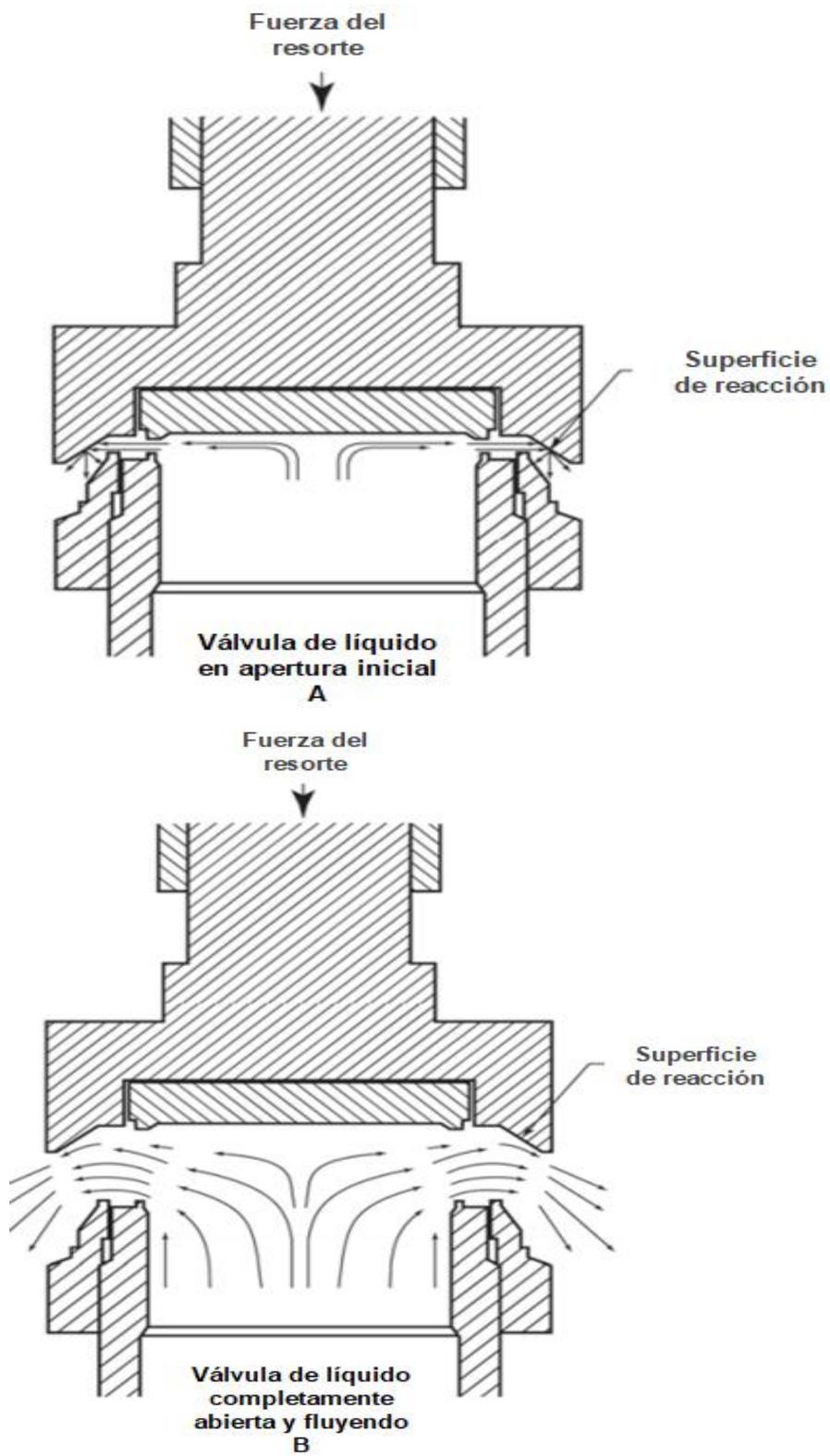


FIGURA 6—RELACIÓN TÍPICA ENTRE LA ELEVACIÓN DEL DISCO Y LA PRESIÓN DEL RECIPIENTE EN UNA PRV



**FIGURA 7—PRV DE OPERACIÓN- SERVICIO LÍQUIDO**

A medida que el flujo aumenta gradualmente, también aumenta la altura de velocidad del líquido que se mueve a través de la boquilla. Estas fuerzas de impulso, combinadas con las fuerzas reactivas del líquido que se descarga radialmente a medida que se desvía hacia abajo desde la superficie de reacción (ver Figura 7, Elemento B), son lo suficientemente sustanciales como para hacer que la válvula se eleve.

Por lo general, la válvula aumentará repentinamente a una elevación del 50% al 100% con una sobrepresión del 2% al 6%. A medida que aumenta la sobrepresión, estas fuerzas continúan aumentando, impulsando la válvula a su máxima elevación. Las válvulas de servicio de líquidos, con capacidad certificada de acuerdo con el Código ASME, deben alcanzar la capacidad nominal total con una sobrepresión del 10% o menos.

En el ciclo de cierre, a medida que la sobrepresión disminuye, el impulso y las fuerzas reactivas disminuyen, lo que permite que la fuerza del resorte mueva el disco de nuevo a contacto con el asiento.

Históricamente, muchas PRV utilizadas en aplicaciones de líquidos eran válvulas de alivio o de alivio de seguridad diseñadas para servicio compresible (vapor). Muchas de estas válvulas, cuando se utilizan en servicio líquido, requieren una alta sobrepresión (25%) para lograr una elevación completa y un funcionamiento estable, ya que los líquidos no proporcionan las fuerzas expansivas que proporcionan los vapores. En los casos en que se requirió que las PRV líquidas operaran dentro del límite de acumulación del 10%, se aplicó un factor conservador de 0.6 a la capacidad de la válvula al dimensionarlas. En consecuencia, muchas instalaciones estaban sobredimensionadas y a menudo resultaba inestabilidad.

Se han incorporado reglas al Código ASME, así como a otras normas internacionales que abordan el rendimiento de las válvulas de servicio de líquidos a una sobrepresión del 10% y requieren una certificación de capacidad. Se han desarrollado PRV diseñadas para servicio de líquidos que logran una elevación completa, un funcionamiento estable y una capacidad nominal con una sobrepresión del 10% de acuerdo con los requisitos. La purga es ajustable en algunos diseños. Algunas válvulas están diseñadas para que funcionen con líquido y gas. Sin embargo, tales válvulas pueden exhibir diferentes características operativas, dependiendo de si la corriente de flujo es líquida, gaseosa o una combinación de los dos. Muchas PRV diseñadas para servicio líquido, por ejemplo, tendrán una purga mucho más prolongada (típicamente 20%) en el servicio de gas que en el de líquido. Además, puede ocurrir alguna variación en la presión de ajuste si la válvula se ajusta a líquido y se requiere que opere con gas o viceversa.

Las PRV con resorte diseñadas para aplicaciones de líquido (o líquido y gas) y que están equilibradas para minimizar los efectos de la contrapresión se recomiendan para aplicaciones de dos fases cuando el fluido que se libera puede ser líquido, gas o una mezcla

multi-fásica. Muchos fabricantes recomiendan que se utilicen válvulas diseñadas para servicio de líquido o líquido y gas si el porcentaje de masa de la mezcla de dos fases en la entrada de la válvula es 50% de vapor o menos. Además, si la relación de líquido a gas en la corriente de flujo no es segura, se debe usar una válvula diseñada específicamente para servicio de líquido o para servicio de líquido y gas.

Las PRV diseñadas para servicio de líquido y gas deben especificarse para el fluido al que normalmente está expuesta la válvula. Por ejemplo, si una válvula de servicio de líquido y gas está ubicada en la región de vapor de un recipiente que contiene un nivel de líquido, la válvula debe especificarse para servicio de gas.

La capacidad de la válvula estampada en la placa de identificación estará en SCFM (pies cúbicos estándar por minuto) de aire. Si una válvula de servicio de líquido y gas está ubicada en el lado de líquido de un intercambiador de calor, entonces la válvula debe especificarse en servicio de líquido. Esta válvula tendrá una capacidad estampada en galones por minuto de agua.

En algunas aplicaciones, se puede requerir que la válvula alivie un líquido o un gas dependiendo de la condición que cause la sobrepresión (por ejemplo, ruptura del tubo del intercambiador de calor). En esta aplicación, se recomienda una válvula diseñada para servicio líquido o una diseñada para servicio líquido y gas.

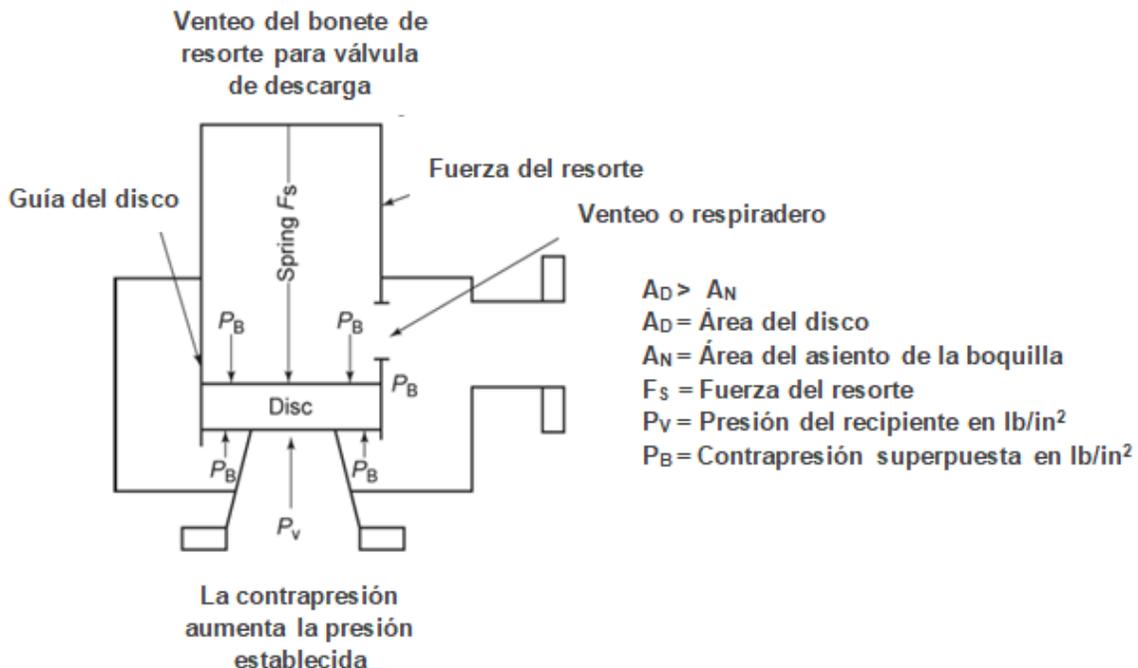
Se advierte al usuario que las válvulas de alivio certificadas por vapor que alivian el líquido son más propensas a vibrar que las válvulas de alivio certificadas para líquidos que alivian el líquido. Se ha observado en los bancos de pruebas de PRV que las PRV certificadas por vapor que alivian el líquido a sobrepresiones muy bajas (donde la tasa de flujo es aproximadamente el 5% de la capacidad de la PRV) fluirán sin mucho aleteo, pero a sobrepresiones más altas, el disco de la PRV puede levantarse abruptamente y provocar una válvula inestable. Las válvulas certificadas de vapor que alivian el líquido pueden exhibir un flujo estable donde la sobrepresión es alta (20% o más) o donde la elevación de la válvula está limitada mecánicamente. Las válvulas certificadas para líquidos fueron diseñadas para resolver los problemas de inestabilidad observados con el alivio de líquidos.

## 2.3—PRV EQUILIBRADAS

Las válvulas de alivio de presión del tipo de fuelle balanceado pueden ser usadas satisfactoriamente en servicio para vapores o líquidos, hasta con una contrapresión de 50%, de la presión de ajuste con tal que el efecto de la contrapresión sea incorporada en los cálculos de dimensionamiento. A contrapresiones mayores la capacidad se torna cada vez más sensitiva a pequeños cambios de la contrapresión. Aparte de las limitaciones de contrapresión anteriormente expuestas basadas en la capacidad de la válvula, las válvulas de alivio de presión del tipo fuelle balanceado están también sujetas a limitaciones de contrapresión basadas en la resistencia mecánica del fuelle o del bonete o de la clasificación de trabajo de la brida externa.

Una PRV equilibrada es una PRV cargada por resorte que incorpora un fuelle u otro medio de equilibrar el disco de la válvula para minimizar los efectos de la contrapresión en las características de rendimiento de la válvula.

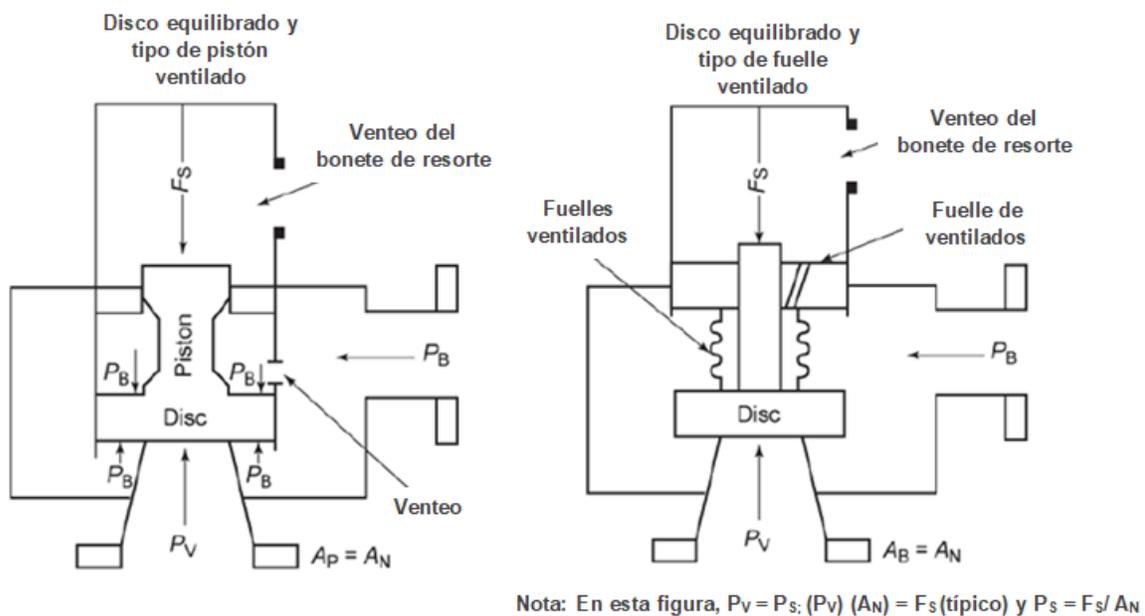
Cuando se aplica una contrapresión superpuesta a la salida de una PRV convencional cargada por resorte, se aplica una fuerza de presión al disco de la válvula que se suma a la fuerza del resorte. Esta fuerza adicional aumenta la presión a la que se abrirá una PRV desequilibrada. Si la contrapresión superpuesta es variable, la presión a la que se abrirá la válvula variará (consulte la Figura 8).



**FIGURA 8—EFECTOS TÍPICOS DE LA CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA SOBRE LA PRESIÓN DE APERTURA DE LA CONVENCIONAL (PRV)**

En una PRV de fuelle equilibrado, se fija un fuelle al soporte del disco con un área efectiva de fuelle "AB", aproximadamente igual o mayor que el área de asiento del disco, "AN" (ver Figura 9). Esto aísla un área del disco, aproximadamente igual al área del asiento del disco, de la contrapresión. Si el área de los fuelles, "AB", fuera idéntica al área del disco, "AN", la contrapresión variable no afectaría la presión de apertura de la PRV. Sin embargo, las consideraciones relativas a las tolerancias de fabricación de los fuelles y las posibles variaciones de la presión de apertura con contrapresión conducen al uso de fuelles con un área de fuelles mínima efectiva "AB" superior o igual a "AN".

Esto asegura que la contrapresión no aumente la presión de apertura de la PRV equilibrada. Con la adición de un fuelle, por lo tanto, la presión de apertura de la PRV permanecerá constante o disminuirá con los aumentos de la contrapresión. Este cambio en la presión de apertura corresponde a la variación dentro de la tolerancia de fabricación de los fuelles. La magnitud de este efecto es normalmente aceptable. Cuando las presiones de apertura se reducen debido a las contrapresiones, las presiones de cierre también se reducirán, lo que resultará en una purga más prolongada. Consulte al fabricante cuando tenga dudas sobre los efectos de la contrapresión en la presión de apertura.



- $A_B$  = Área efectiva del fuelle
- $A_D$  = Área del disco
- $A_N$  = Área del asiento de la boquilla
- $A_p$  = Área del pistón (arriba)
- $F_s$  = Fuerza del resorte
- $P_v$  = Presión del recipiente en lb/in<sup>2</sup>
- $P_B$  = Contrapresión superpuesta en lb/in<sup>2</sup>
- $P_s$  = Configuración de presión en lb/in<sup>2</sup>

**FIGURA 9—EFECTOS TÍPICOS DE LA CONTRAPRESIÓN EN LA PRESIÓN DE AJUSTE DE LAS PRV EQUILIBRADAS**

El área interna de los fuelles en una PRV cargada por resorte de fuelles equilibrados se hace referencia a la presión atmosférica en el bonete de la válvula. Es importante que el capó de una PRV equilibrada se ventile a la atmósfera para que los fuelles funcionen correctamente.

Si la válvula está ubicada donde la ventilación atmosférica representaría un peligro o no está permitida por las regulaciones, la ventilación debe conectarse a un lugar seguro que esté libre de contrapresión que pueda afectar la presión de apertura de la PRV.

En algunos diseños de válvulas se utilizan otros medios para equilibrar una válvula de escape con resorte, como un pistón sellado. Estos diseños funcionan de manera similar al diseño de fuelle equilibrado. Cuando la contrapresión superpuesta es constante, la carga del resorte se puede reducir para compensar el efecto de la contrapresión sobre la presión de ajuste, y no se requiere una válvula equilibrada. Hay casos en los que la contrapresión superpuesta no siempre es constante y tales casos deben evaluarse cuidadosamente.

Las PRV equilibradas deben considerarse cuando la contrapresión acumulada (contrapresión causada por el flujo a través de la tubería aguas abajo después de que la PRV se eleva) es demasiado alta para un alivio de presión convencional. Las PRV equilibradas también se pueden usar como un medio para aislar la guía, el resorte, el bonete y otras partes superiores dentro de la válvula del fluido de alivio. Esto puede ser importante si existe la preocupación de que el fluido cause daños corrosivos a estas piezas.

Es importante recordar que el capó de una PRV equilibrada debe estar ventilado a la atmósfera en todo momento. Se debe advertir al usuario sobre la posibilidad de congelación de la humedad atmosférica dentro del capó en servicio frío debido al auto refrigeración o temperaturas ambiente frías.

## 2.4—PRV OPERADAS POR PILOTO

Bajo las condiciones operacionales normales, la presión de un recipiente actúa sobre el asiento principal de la válvula en la parte inferior del pistón de área diferencial flotante y por medio de la línea de suministro del piloto es también aplicada al tope del pistón y por debajo del disco de la válvula piloto.

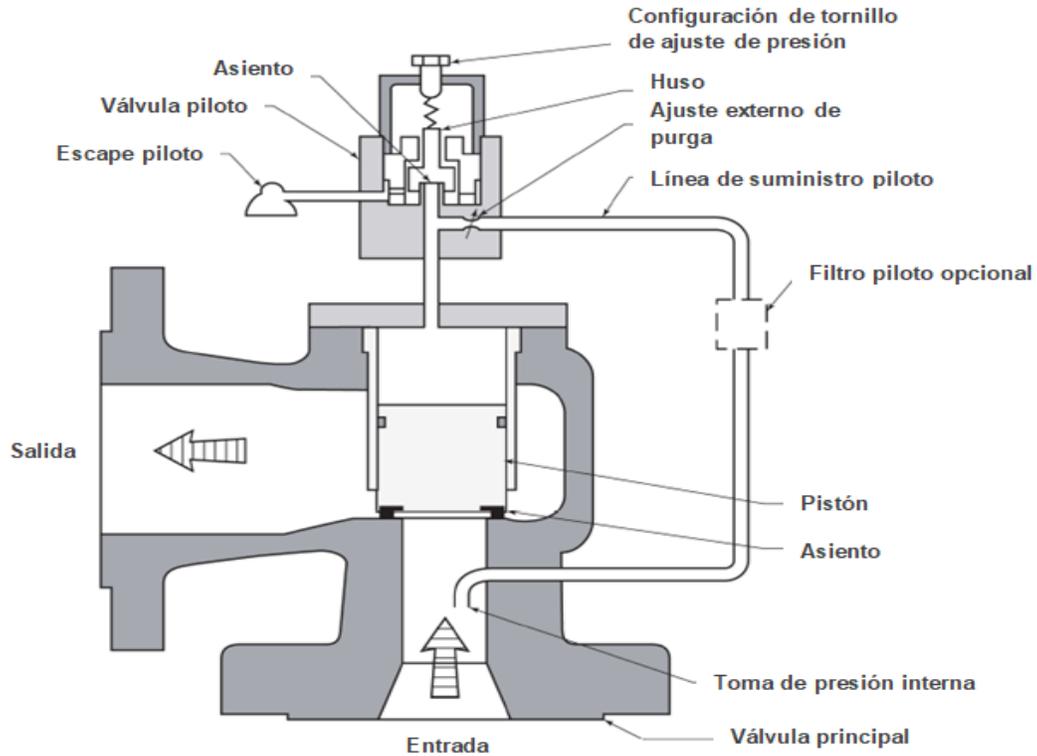
Puesto que el área superior del pistón es más grande que el área de la boquilla en el extremo inferior del pistón, existe una fuerza grande sosteniendo apretado el pistón sobre la boquilla. Bajo condiciones estáticas, esta fuerza de sello ejercida hacia abajo aumenta a medida que sube la presión en el recipiente y la válvula se acerca hacia su punto de ajuste.

Esto contrasta con la válvula convencional operada por resorte, donde la fuerza neta sobre el asiento se reduce y la válvula de alivio de presión comienza a dejar escapar el fluido a medida que se aproxima a su punto de ajuste. Cuando se alcanza la presión de ajuste del piloto, éste abre y despresuriza el área por encima del pistón, y alivia a la atmósfera o a un cabezal de tubería reduciendo así la carga sobre la parte superior del pistón, hasta el punto en que la fuerza de empuje hacia arriba sobre el asiento del pistón puede vencer la fuerza ejercida hacia abajo. Esto causa un levantamiento instantáneo del pistón hasta su posición de apertura total.

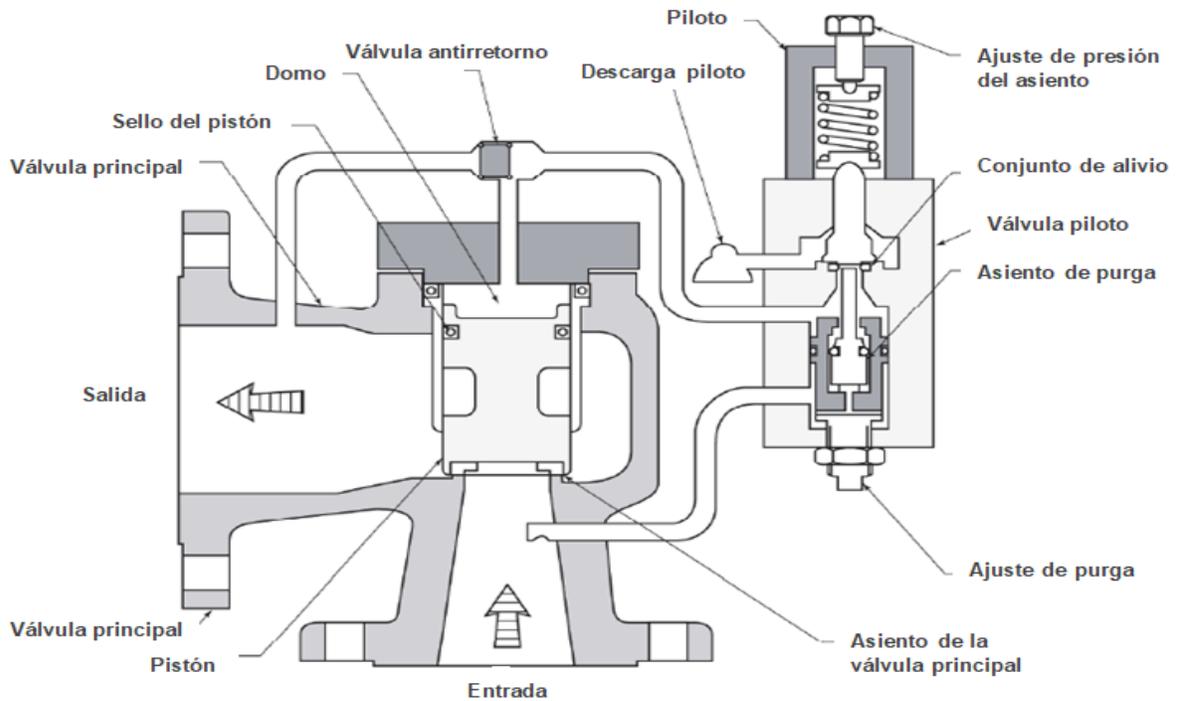
La válvula piloto asiento blando cargada por resorte es construida de modo tal que logra una gran descarga de alivio. En el caso de un piloto del tipo activado por el flujo, en el punto en que la línea de suministro del piloto alimenta la presión del sistema a la válvula de alivio del piloto, el flujo pasa a través de un orificio variable que es también el ajuste de descarga de alivio de la válvula principal. Cuando el piloto abre el flujo a través de la línea de suministro causa una caída de presión inmediata a través del orificio. Ajustando el tamaño del orificio, o sea la magnitud de la caída de presión a través del mismo, puede obtenerse el grado deseado de descarga de alivio del sistema (un valor típico es 5 a 7%).

Una PRV operada por piloto consta de la válvula principal, que normalmente encierra un conjunto de pistón flotante desequilibrado, y un piloto externo (consulte la Figura 10 a la Figura 14). Esta característica permite que la mayoría de las válvulas operadas por piloto se usen donde la presión de operación máxima esperada es mayor que el porcentaje que se muestra en la Figura 15. A la presión establecida, el piloto ventila la presión desde la parte superior del pistón; la fuerza neta resultante es ahora hacia arriba, lo que hace que el pistón se eleve y el flujo del proceso se establece a través de la válvula principal.

Después del incidente de sobrepresión, el piloto cerrará la ventilación desde la parte superior del pistón, restableciendo así la presión, y la fuerza neta hará que el pistón se vuelva a asentar.



**FIGURA 10 — VÁLVULA OPERADA POR PILOTO DE ACCIÓN POP (TIPO DE FLUJO)**



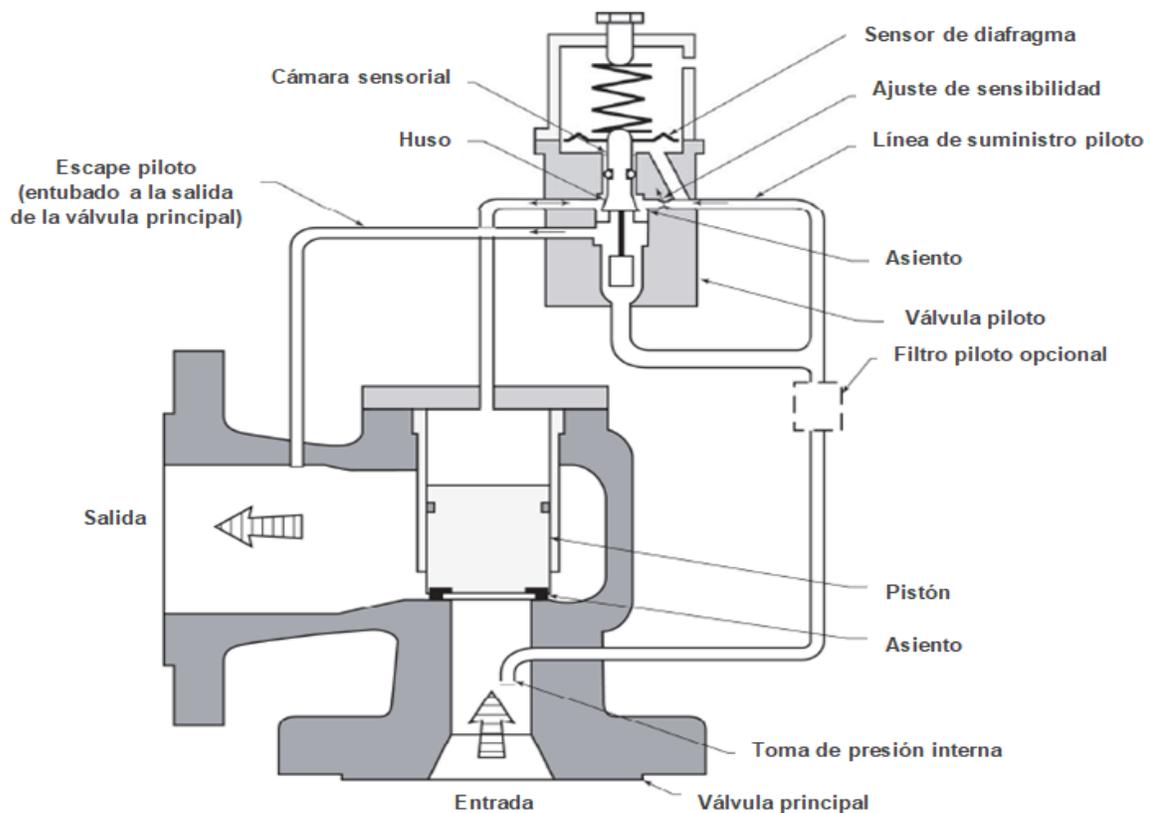
**FIGURA 11—VÁLVULA OPERADA POR PILOTO DE ACCIÓN POP (TIPO SIN FLUJO)**

La válvula principal de la PRV operada por piloto puede usar un diafragma en lugar de un pistón para proporcionar el componente móvil desequilibrado de la válvula.

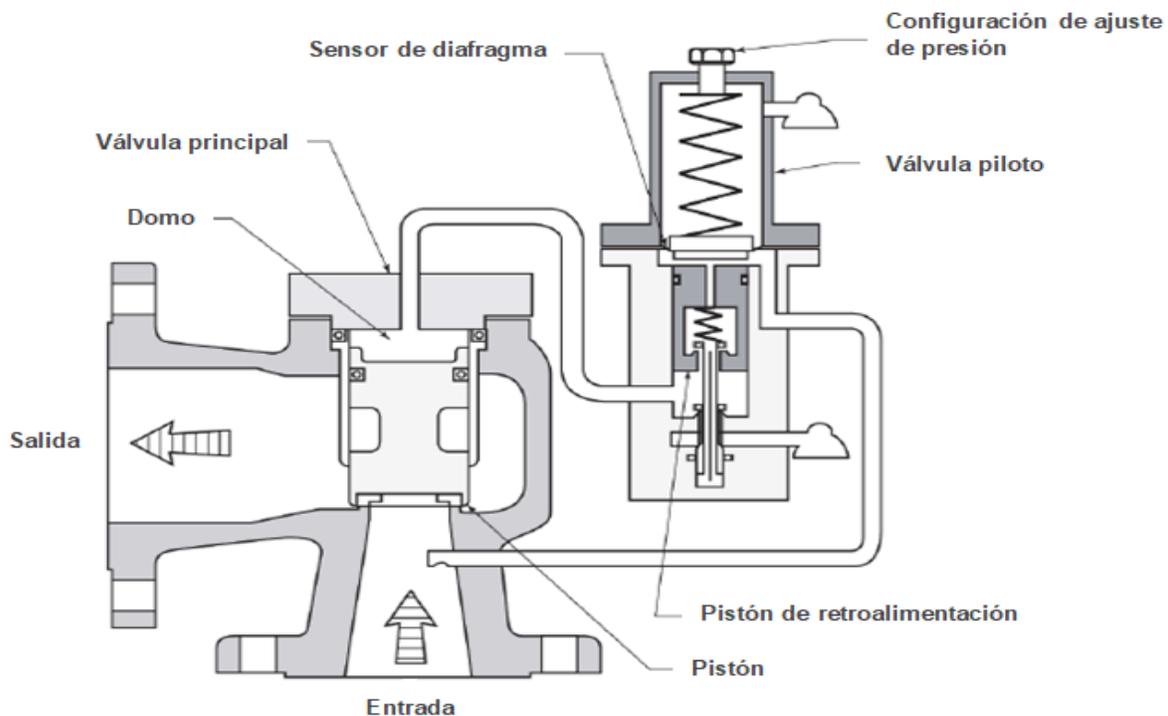
Un disco, que normalmente cierra la entrada de la válvula principal, está integrado con un diafragma flexible (consulte la Figura 14). El piloto externo tiene la misma función para detectar la presión del proceso, ventilar la parte superior del diafragma a la presión establecida y recargar el diafragma una vez que se reduce la presión del proceso. Al igual que con la válvula de pistón, la fuerza de asiento aumenta proporcionalmente con la presión de funcionamiento debido al área expuesta diferencial del diafragma.

La elevación del pistón o diafragma de la válvula principal, a diferencia de una válvula convencional o equilibrada con resorte, no se ve afectada por la contrapresión acumulada. Esto permite presiones aún más altas en los colectores de descarga de alivio.

El respiradero del piloto puede descargarse directamente a la atmósfera de la salida de la válvula principal, según el diseño del piloto y los requisitos del usuario. Solo un tipo de piloto equilibrado, donde la presión de ajuste no se ve afectada por la contrapresión, debe instalarse con su escape conectado a una ubicación con presión variable (como la salida de la válvula principal). Pueden ser aceptables ligeras variaciones en la contrapresión para pilotos desequilibrados.



**FIGURA 12—VÁLVULA MODULADORA OPERADA POR PILOTO (TIPO DE FLUJO)**



**FIGURA 13—VÁLVULA DE ALIVIO OPERADA POR PILOTO CON UNA VÁLVULA PILOTO MODULADORA QUE NO FLUYE**

El piloto modulador, como se muestra en la Figura 17, abre la válvula principal solo lo suficiente para satisfacer la capacidad de alivio requerida y puede usarse en aplicaciones de flujo de gas, líquido o de dos fases.

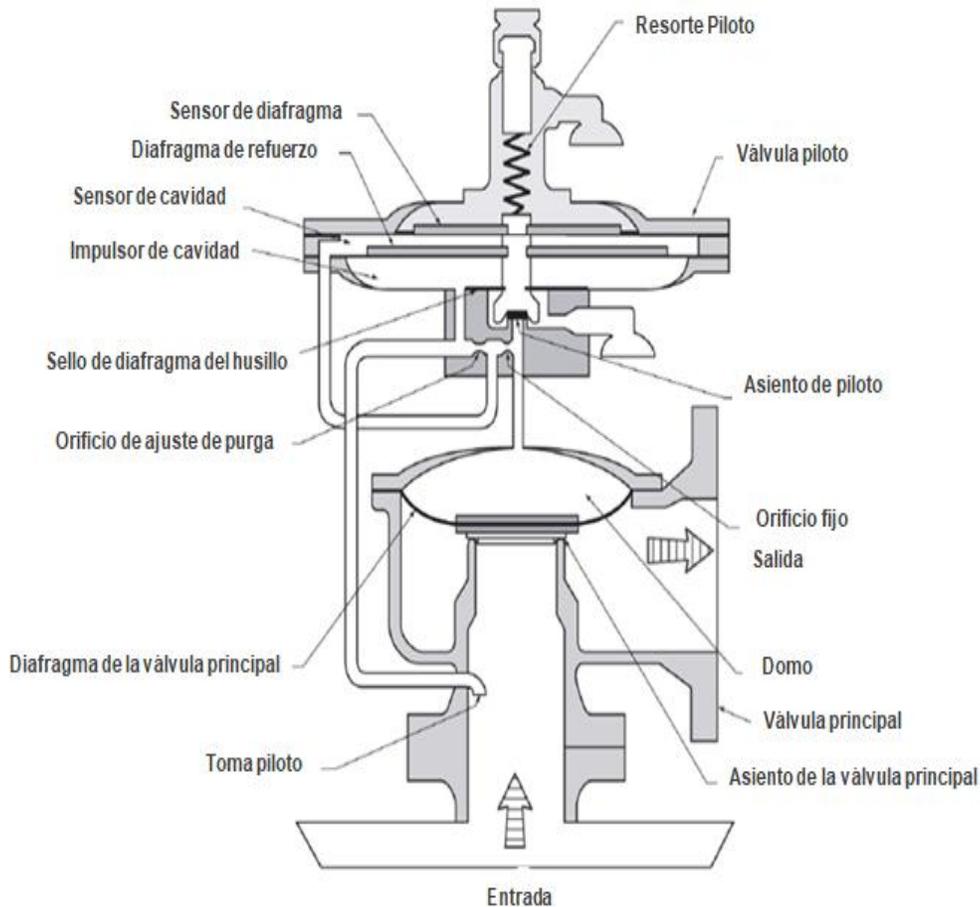
Una válvula moduladora operada por piloto, en contraste con una válvula de acción pop, limita la cantidad de fluido de alivio a solo la cantidad requerida para evitar que la presión exceda la acumulación permitida. Dado que un piloto de modulación solo libera la tasa de alivio requerida, el cálculo de la contrapresión acumulada puede basarse en la tasa de alivio requerida en lugar de la capacidad de alivio nominal de la válvula. La válvula piloto moduladora también puede reducir la interacción con otros equipos de control de presión en el sistema durante una condición alterada, reducir las emisiones atmosféricas no deseadas y reducir el nivel de ruido asociado con la descarga a la atmósfera.

Los pilotos pueden ser de tipo fluido o no fluido. El tipo de flujo permite que el fluido del proceso fluya continuamente a través del piloto cuando la válvula principal está abierta; el tipo que no fluye no lo hace.

El tipo piloto sin flujo se recomienda generalmente para la mayoría de los servicios para reducir la posibilidad de formación de hidratos (formación de hielo) o sólidos en el fluido de carga que afecten el desempeño del piloto.

### 2.4.1—APLICACIÓN Y LIMITACIONES DE LAS PRV OPERADAS POR PILOTO

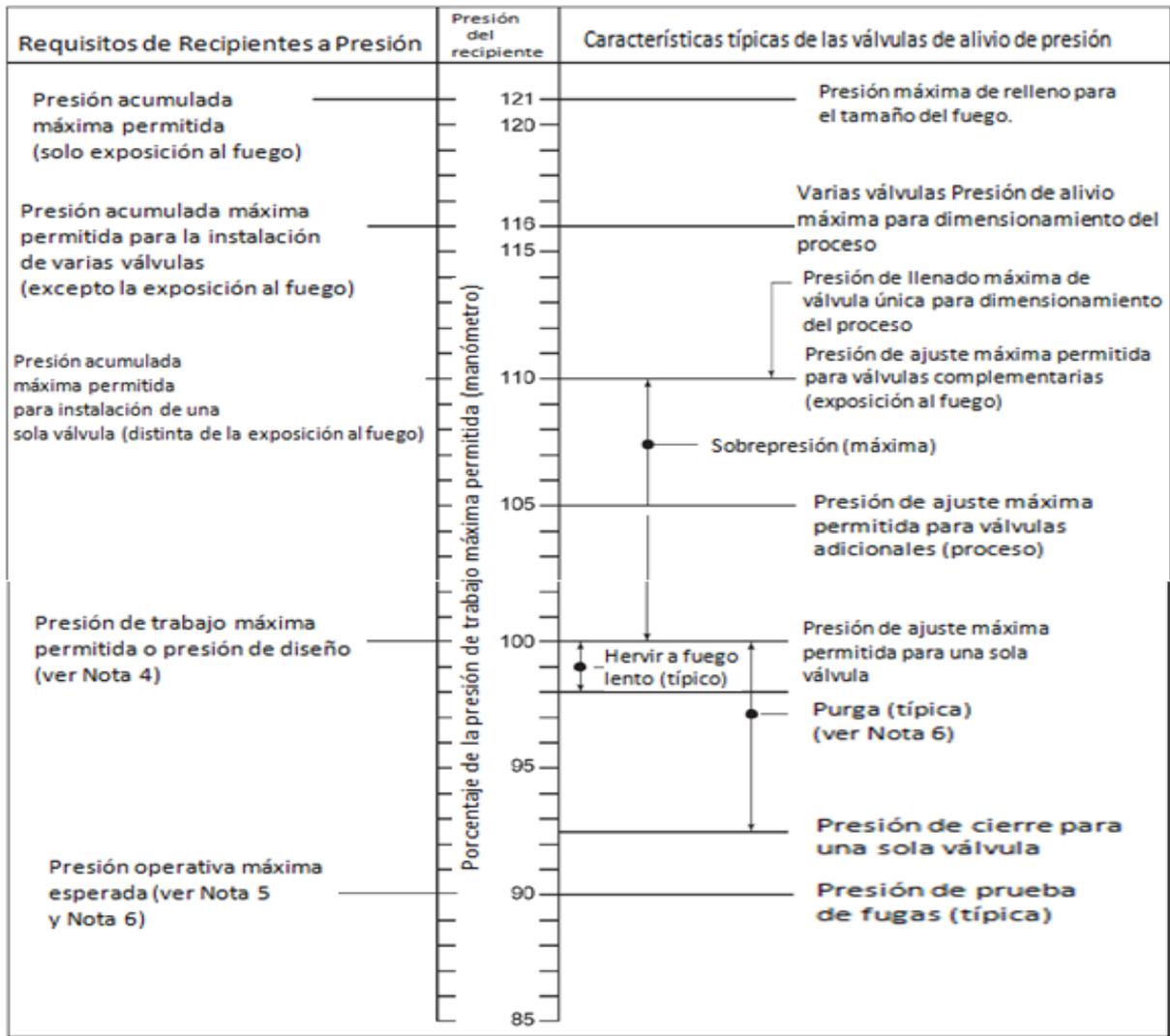
Las PRV operadas por piloto están disponibles para su uso en servicios de líquidos y vapores. Las características operativas de algunas PRV operadas por piloto no se ven afectadas por el estado del fluido (líquido o gas), y estos tipos se recomiendan para aplicaciones de flujo de dos fases.



**FIGURA 14—VÁLVULA ACCIONADA POR PILOTO DE BAJA PRESIÓN (TIPO DIAFRAGMA)**

Al igual que las válvulas con resorte de asiento blando, la mayoría de las válvulas principales y sus pilotos contienen componentes no metálicos, y la temperatura del proceso y la compatibilidad de fluidos pueden limitar su uso.

Además, como con todos los dispositivos de alivio de presión, se deben considerar las características del fluido como la susceptibilidad a la polimerización o ensuciamiento, la viscosidad, la presencia de sólidos y la corrosión. Se debe consultar al fabricante para asegurarse de que la aplicación propuesta sea compatible con las válvulas disponibles.



NOTA 1 ESTA FIGURA CUMPLE CON LOS REQUISITOS DE LA SECCIÓN VIII DEL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN PARA MAWP SUPERIORES A 30 PSIG.

NOTA 2 LAS CONDICIONES DE PRESIÓN QUE SE MUESTRAN SON PARA VÁLVULAS DE PRESIÓN INSTALADAS EN UN RECIPIENTE A PRESIÓN

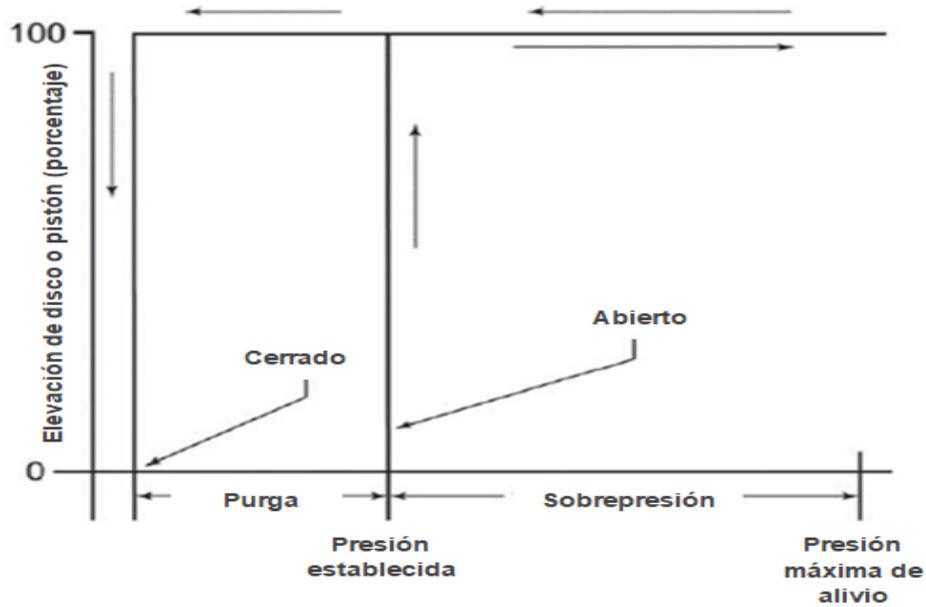
NOTA 3 LAS TOLERANCIAS DE PRESIÓN DE AJUSTE PERMITIDAS ESTARÁN DE ACUERDO CON LOS CÓDIGOS APLICABLES

NOTA 4 LA PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA PERMITIDA ES IGUAL O MAYOR QUE LA PRESIÓN DE DISEÑO PARA UNA TEMPERATURA DE DISEÑO COINCIDENTE

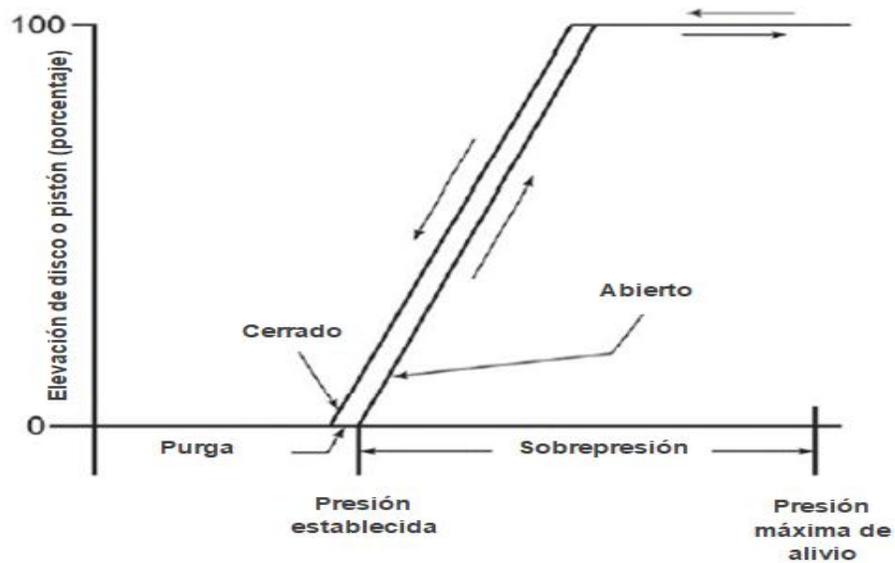
NOTA 5 LA PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO PUEDE SER SUPERIOR O INFERIOR AL 90%.

NOTA 6 SE DEBE CONSULTAR LA SECCIÓN VII, DIVISIÓN 1, APÉNDICE M DEL CÓDIGO ASME PARA OBTENER ORIENTACIÓN SOBRE PURGAS Y DIFERENCIALES DE PRESIÓN.

FIGURA 15—RELACIONES DE NIVEL DE PRESIÓN PARA PRV



**FIGURA 16—RELACIÓN TÍPICA ENTRE LA ELEVACIÓN DEL DISCO O EL PISTÓN Y LA PRESIÓN DEL RECIPIENTE EN UNA VÁLVULA DE ESCAPE DE AIRE OPERADA POR PILOTO DE ACCIÓN POP**



**FIGURA 17—RELACIÓN TÍPICA ENTRE LA ELEVACIÓN DEL DISCO O PISTÓN Y LA PRESIÓN DEL RECIPIENTE EN UNA VÁLVULA DE CONTROL DE PASO DE ACCIÓN DE MODULACIÓN OPERADA POR PILOTO**

## **2.4.2—CONEXIÓN DE PRUEBA DE CAMPO**

Las PRV operadas por piloto pueden probarse fácilmente para verificar la presión establecida durante el funcionamiento normal del sistema con este accesorio. Esta prueba de campo generalmente se realiza a través de la presión de una fuente independiente, como una botella de nitrógeno, donde el gas fuente se admite lentamente a través de una válvula dosificadora. El piloto y el domo de la válvula principal están presurizados simulando un aumento de la presión del sistema. La presión de prueba de campo accionará el piloto y puede o no accionar la válvula principal. Se debe contactar al fabricante de la válvula para obtener más detalles.

## **2.4.3—VÁLVULA ANTI-RETORNO**

Este accesorio, a veces llamado “bloque de vacío”, evita que una válvula operada por piloto invierta el flujo cuando la presión en la brida de salida (contrapresión superpuesta) es mayor que la presión actual del sistema. El flujo inverso puede ocurrir con cualquier tipo o diseño estándar de PRV operada por piloto cuando existe suficiente presión diferencial inversa. Un dispositivo de prevención de reflujo permite la introducción de presión de salida en la cúpula de la válvula principal, manteniendo así el pistón firmemente en la boquilla, superando el efecto de una presión diferencial inversa. Se debe especificar un dispositivo de prevención de reflujo siempre que se aplique cualquiera de las siguientes situaciones:

- El equipo protegido se puede despresurizar y aislar (por ejemplo, para prepararlo para el mantenimiento) mientras se alinea con un cabezal de antorcha activo;
- Puede haber vacío en la conexión de entrada debido a condiciones de funcionamiento inusuales o durante el arranque;
- La válvula está conectada a un recipiente a presión aguas abajo donde la presión puede variar de vez en cuando por encima de la presión en el sistema aguas arriba;
- La descarga de múltiples PRV se combina en un solo colector o sistema de ventilación, creando una contrapresión superpuesta en exceso de la presión actual del sistema aguas arriba.

## **2.4.4—FILTRO DE SUMINISTRO PILOTO**

Un filtro de suministro de piloto protege al piloto de partículas en la corriente de flujo. Este accesorio, instalado en la línea de suministro piloto, ha ampliado las aplicaciones de servicio para PRV operadas por piloto. Se advierte al usuario que en los servicios propensos a taponarse, es posible que se requiera un mantenimiento frecuente del filtro para lograr los beneficios. Para aplicaciones con exceso de material particulado, es posible que se requieran otros métodos, como la adición de un sistema de purga.

#### **2.4.5—AMORTIGUADOR DE PICOS DE PRESIÓN**

Se recomienda un amortiguador de picos de presión para su uso en instalaciones de fluidos de carga compresibles o incompresibles donde picos de presión instantáneos o pulsaciones se acercan o exceden la presión de hervor o de ajuste y pueden causar el desgaste y la activación inadvertidos de la válvula (por ejemplo, aguas abajo del equipo giratorio de desplazamiento positivo). El dispositivo amortigua estos aumentos transitorios de presión antes de que lleguen a las cámaras de detección del piloto sin afectar la presión de ajuste de la válvula.

#### **2.4.6—CONEXIÓN DE DETECCIÓN DE PRESIÓN REMOTA**

Esta característica opcional permite que el piloto detecte la presión del sistema en una ubicación que refleje con mayor precisión la presión de funcionamiento real del sistema protegido. También se puede utilizar para eliminar la indicación falsa de presión del sistema que se producirá durante las condiciones de alivio debido a pérdidas de presión en la tubería de entrada. La adición de una línea de detección de piloto remoto permite al piloto detectar correctamente la presión del sistema y evitar que la válvula circule rápidamente o vibre debido a las altas pérdidas de presión de la tubería de entrada. La capacidad de alivio se reducirá proporcionalmente siempre que haya una pérdida de presión de entrada a la válvula.

#### **2.4.7—DESCARGADOR MANUAL O REMOTO**

Un descargador permite que la válvula principal se abra de forma manual o remota para despresurizar el sistema. Su uso no tiene ningún efecto sobre los ajustes de presión sellados. Se conecta una válvula manual, neumática o de solenoide a la cúpula de la válvula principal. Al abrir esta válvula, la presión de la cúpula se ventila más rápido de lo que puede ser recargada por el suministro del piloto, lo que permite que el pistón se eleve. Cuando lo permita el código, el descargador manual puede sustituirse por una palanca de elevación mecánica.

#### **2.4.8—PALANCA DE ELEVACIÓN PILOTO**

Este accesorio se proporciona para aquellas aplicaciones donde se requiere la elevación mecánica del piloto para verificar el funcionamiento de la válvula. La elevación del eje piloto permitirá que la válvula principal se eleve cuando la presión del sistema sea al menos igual o superior al 75% de la presión establecida. El Código ASME requiere el uso de este dispositivo o un descargador manual para aplicaciones de aire, agua caliente a más de 140 ° F (60 ° C) y vapor, a menos que se haya utilizado el Caso 2203 del Código ASME para eliminar la necesidad de una palanca de elevación.



## 2.5—DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN

### 2.5.1—DISCOS DE RUPTURA

Al igual que las válvulas de alivio de presión, los discos de ruptura abren cuando se alcanza una presión determinada en el sistema. Sin embargo, tienen multitud de diferencias con respecto a las primeras, entre ellas las siguientes:

- Los discos de ruptura no permiten el cierre una vez que la presión se han establecido a valores normales.
- Diseño más simple y confiable al no contener partes móviles.
- La apertura es instantánea y completa.
- Generalmente tienen un coste menor y no requieren prácticamente de mantenimiento.
- La estanqueidad del disco a diferencia de la de las válvulas es total.
- Mayor rango de aplicación en cuanto a fluidos corrosivos, que polimericen, etc.
- Sensibles a la temperatura.

Estas características entre muchas otras hacen que la elección del dispositivo de alivio de presión no sea una cuestión trivial y se tenga que adaptar a las necesidades exclusivas del proceso. Es importante conocer la temperatura máxima que se puede dar en el equipo protegido ya que la presión de ruptura del disco disminuye frente a un aumento de temperatura.

Es importante tener en cuenta que en el caso de que el disco actúe es necesario detener el proceso para sustituirlo, esto es una cuestión fundamental de cara a la utilización que se le puede dar. Es por esto que es posible su utilización de manera conjunta con una PRV, o la utilización de dos discos en paralelo con una PRV, de manera que siempre haya un disco en servicio.

A la hora de diseñar un disco de ruptura es importante tener en cuenta que son elementos que rompen por presión diferencial, es decir, están afectados fuertemente por la contrapresión que puede haber en la descarga.

También es necesario conocer los valores de presión de ruptura y los márgenes proporcionados por el fabricante, habitualmente se indica la presión de rotura media de un lote de pruebas de discos, así como el límite superior e inferior y la desviación, en base a estos parámetros se debe escoger el disco más adecuado para las presiones del sistema a proteger.

Sin partes móviles, los discos de ruptura son simples, confiables y de acción más rápida que otros dispositivos de alivio de presión. Los discos de ruptura reaccionan con la suficiente rapidez para aliviar algunos tipos de picos de presión.

Debido a su peso ligero, los discos de ruptura pueden fabricarse con materiales de alta aleación y resistentes a la corrosión que no son prácticos en las PRV. Los discos de ruptura se pueden especificar para sistemas con requisitos de alivio de presión de vapor (gas) o líquido. Además, los diseños de disco de ruptura están disponibles para fluidos muy viscosos. El uso de dispositivos de disco de ruptura en servicio líquido debe evaluarse cuidadosamente para garantizar que el diseño del disco sea adecuado para servicio líquido.

El disco de ruptura también es un dispositivo sensible a la temperatura. Las presiones de ruptura pueden variar significativamente con la temperatura del dispositivo de disco de ruptura. Esta temperatura puede ser diferente a la del fluido normal. Temperatura de funcionamiento.

A medida que aumenta la temperatura en el disco, la presión de ruptura generalmente disminuye. Dado que el efecto de la temperatura depende del diseño y el material del disco de ruptura, se debe consultar al fabricante para aplicaciones específicas. Por estas razones, el disco de ruptura debe especificarse a la presión y temperatura que se espera que explote.

Se debe tener cuidado durante la instalación para evitar dañar el disco y asegurarse de que el disco y el soporte estén correctamente orientados en relación con el flujo. Un disco dañado o mal orientado puede explotar considerablemente más alta que su marcada presión de ruptura, dependiendo del estilo del disco. Comuníquese con el fabricante para obtener información sobre los efectos del daño o la orientación incorrecta para un estilo específico de disco. También se debe tener cuidado de seguir el par de apriete de los pernos del fabricante y los procedimientos de apriete durante la instalación. Un par de torsión inadecuado también puede afectar la presión de ruptura del disco.

## **2.5.2—APLICACIÓN DE DISCOS DE RUPTURA**

### **2.5.2.1—APLICACIONES INDIVIDUALES, MÚLTIPLES Y DE FUEGO**

Los discos de ruptura se pueden utilizar en cualquier aplicación que requiera protección contra sobrepresión donde sea adecuado un dispositivo que no se reconecte. Esto incluye aplicaciones simples, múltiples y de incendio como se especifica en UG-134 del Código ASME.

La Figura 18.1 proporciona las relaciones de nivel de presión entre los discos de ruptura y el equipo protegido de acuerdo con el Código ASME.

### 2.5.2.2—DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA EN LA ENTRADA DE UNA PRV

El Código ASME también permite el uso de discos de ruptura en combinación con PRV (consulte la Figura 19).

Los discos de ruptura, se utilizan antes de las válvulas de alivio para sellar el sistema y cumplir con los estándares de emisiones, brindar protección contra la corrosión a la válvula y reducir el mantenimiento de la válvula.

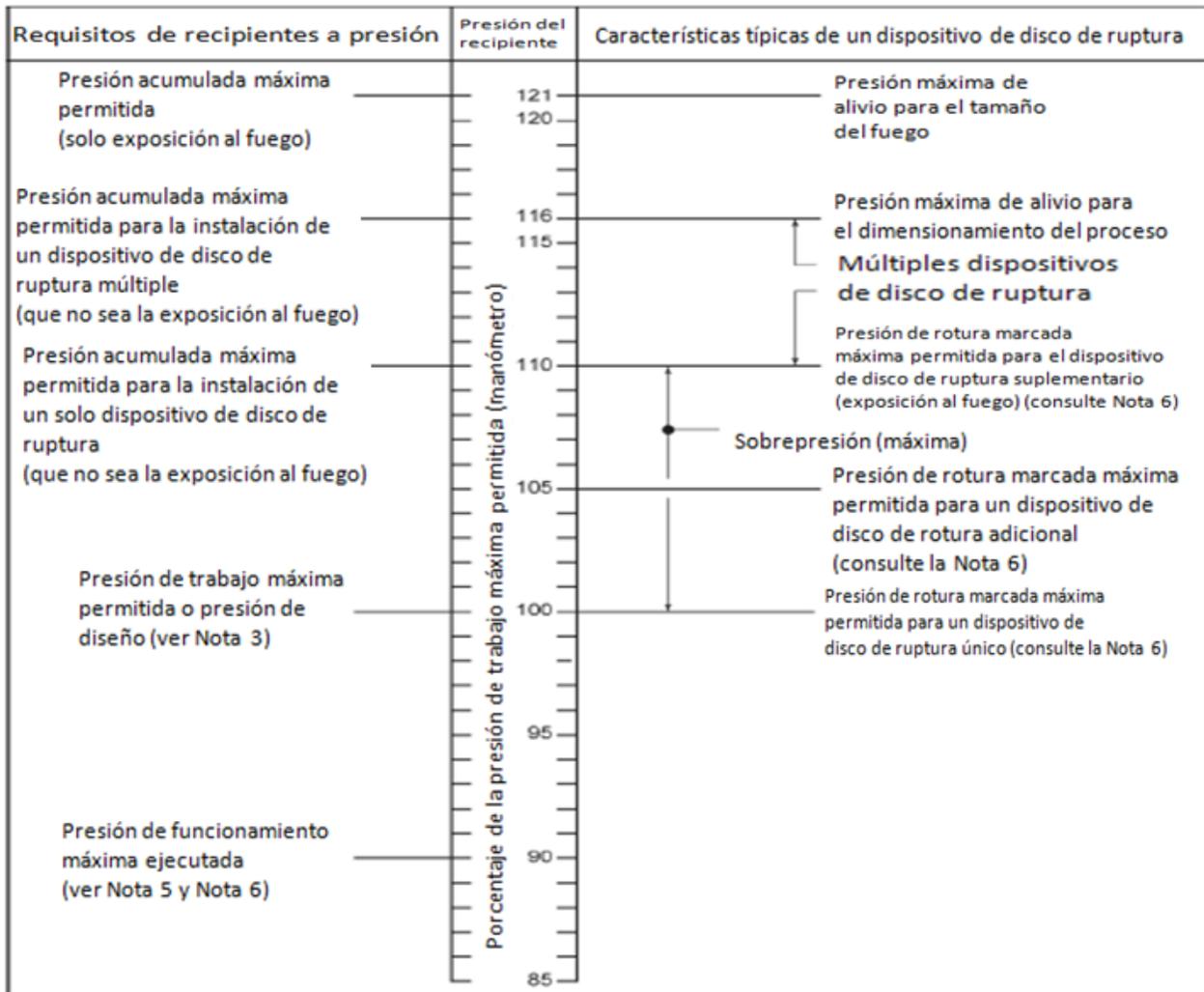
Cuando se instala un dispositivo de disco de ruptura en la entrada de una válvula de alivio, se considera que los dispositivos están estrechamente acoplados y la presión de ruptura especificada y la presión de ajuste deben ser el mismo valor nominal.

Cuándo se instala en servicio líquido, es especialmente importante que el disco y la válvula estén acoplados estrechamente para reducir la carga de impacto en la válvula. El espacio entre el disco de ruptura y la válvula de alivio debe tener un respiradero libre, manómetro, llave de prueba o indicador de control adecuado como se requiere en UG-127 del Código ASME.

Un espacio sin ventilación con un manómetro sin alarmas u otros dispositivos no se recomienda como un indicador de advertencia adecuado. Se advierte a los usuarios que un disco de ruptura no explotará en tolerancia si se acumula contrapresión en un espacio no ventilado entre el disco y la válvula de alivio de presión, lo que ocurrirá si se desarrolla una fuga en el disco de ruptura debido a corrosión u otra causa.



**FIGURA 18—DISPOSITIVOS DISCO DE RUPTURA**



Nota 1 Esta figura cumple con los requisitos de la Sección VIII del Código ASME para calderas y recipientes a presión para MAWP superiores a 30 psig.

Nota 2 Las condiciones de presión que se muestran son para dispositivos de disco de ruptura instalados en un recipiente a presión.

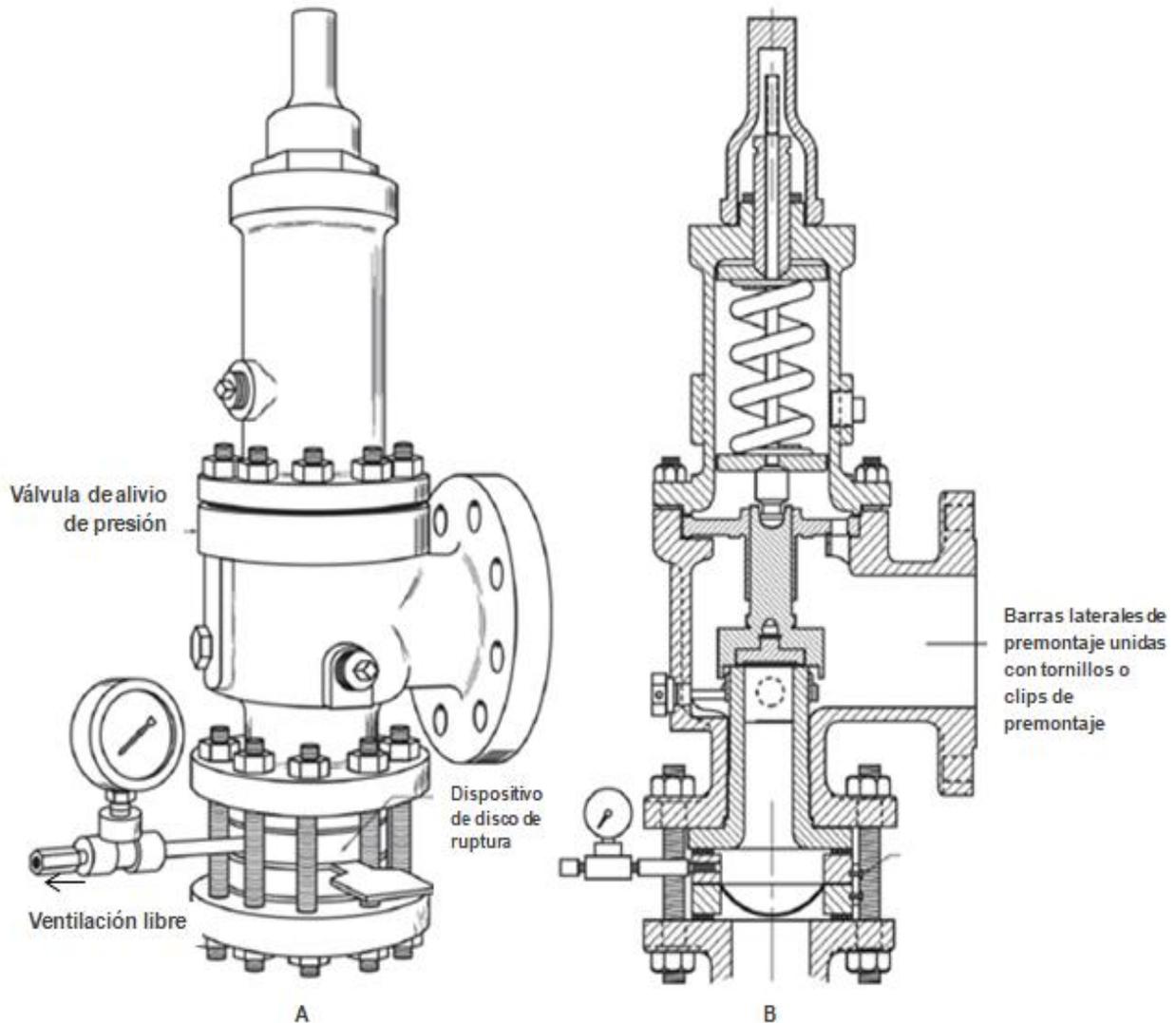
Nota 3 El margen entre la presión de trabajo máxima permitida y la presión de trabajo debe tenerse en cuenta en la selección de un disco de ruptura.

Nota 4 La tolerancia de presión de rotura permitida estará de acuerdo con el código aplicable

Nota 5 La presión de funcionamiento puede ser superior o inferior al 90% según el diseño del disco de ruptura.

Nota 6 La presión de rotura marcada del disco de ruptura puede ser cualquier presión igual o inferior a la presión de rotura marcada máxima permitida.

**FIGURA 18.1 — RELACIONES DE NIVEL DE PRESIÓN PARA DISPOSITIVOS DE DISCO DE RUPTURA**



**FIGURA 19 — DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA EN COMBINACIÓN CON UNA PRV**

### **2.5.3—DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA EN LA SALIDA DE UNA PRV**

Se puede instalar un dispositivo de disco de ruptura en la salida de un PRV para proteger la válvula de los fluidos atmosféricos o aguas abajo. Se debe tener en cuenta el diseño de la válvula para que se abra a su ajuste de presión adecuado independientemente de cualquier contrapresión que pueda acumularse entre la válvula y el disco de ruptura. Consulte UG 127 del Código ASME para conocer otros requisitos y consideraciones.

### **2.5.3.1—APLICACIONES ALTAMENTE CORROSIVAS**

En aplicaciones altamente corrosivas, a menudo se utilizan dos discos de ruptura juntos. Un conjunto de doble disco consta de dos discos de ruptura montados en un soporte especial con un espacio de vapor entre ellos. Si el primer disco presenta una fuga debido a la corrosión, el segundo disco contendrá el fluido. El espacio de vapor entre los discos debe tener un respiradero libre, un manómetro, una llave de prueba o un indicador de control adecuado para monitorear la acumulación de presión. Esto le da al usuario una indicación de que es necesario reemplazar el disco de ruptura.

### **2.5.3.2—APLICACIONES MUY VISCOSAS**

Los diseños de disco de ruptura están disponibles para procesos con fluido de alta viscosidad, incluidas suspensiones no abrasivas, donde el flujo de fluido se dirige a través de la entrada del disco de ruptura para evitar la acumulación de producto que de otra manera podría afectar negativamente el rendimiento del disco de ruptura. Se debe consultar al fabricante del disco para obtener detalles sobre estas aplicaciones.

### **2.5.4—TIPOS DE DISCOS DE RUPTURA**

GENERAL

HAY TRES TIPOS PRINCIPALES DE DISCOS DE RUPTURA:

- ACCIÓN HACIA ADELANTE, CARGADA DE TENSIÓN
- ACCIÓN INVERSA, CON CARGA DE COMPRESIÓN
- GRAFITO, CIZALLAMIENTO CARGADO

### **2.5.5—DISCOS DE RUPTURA DE METAL SÓLIDO DE ACCIÓN DIRECTA**

Un disco de ruptura de acción hacia adelante es un disco de metal sólido formado (abovedado) diseñado para estallar a una presión nominal aplicada al lado cóncavo (ver Figura 20).

Este disco de ruptura típicamente tiene un diseño de asiento angular y proporciona una vida útil satisfactoria cuando las presiones de operación son hasta el 70% de la presión de ruptura marcada del disco (relación de operación del 70%). Consulte al fabricante para conocer la relación operativa recomendada real para el disco específico que se está considerando. Si existen condiciones de vacío o contrapresión, el disco se puede proporcionar con un soporte para evitar la flexión inversa. Estos discos tienen un patrón de apertura aleatorio y se consideran diseños fragmentados que no son adecuados para la instalación aguas arriba de una PRV.

### **2.5.5.1—DISCOS DE RUPTURA MARCADOS DE ACCIÓN DIRECTA**

El disco de ruptura de acción hacia adelante ranurado es un disco formado (abovedado) diseñado para estallar a lo largo de líneas marcadas a una presión nominal aplicada al lado cóncavo (ver Figura 21).

Algunos diseños proporcionan una vida útil satisfactoria cuando las presiones de funcionamiento son de hasta el 85% al 90% de la presión de rotura marcada del disco (relación de funcionamiento del 85% al 90%).

Consulte al fabricante para conocer la relación operativa recomendada real para el disco específico que se está considerando. La mayoría de los diseños soportan condiciones de vacío sin un soporte de vacío. Si existen condiciones de contrapresión, el disco se puede proporcionar con un soporte para evitar la flexión inversa. Debido a que las líneas marcadas controlan el patrón de apertura, este tipo de disco se puede fabricar para que no se fragmente y es aceptable para la instalación antes de una PRV.

El disco de ruptura ranurado de acción hacia adelante está fabricado con un material más grueso que los diseños sin ranura con la misma presión de rotura y proporciona una resistencia adicional a los daños mecánicos.

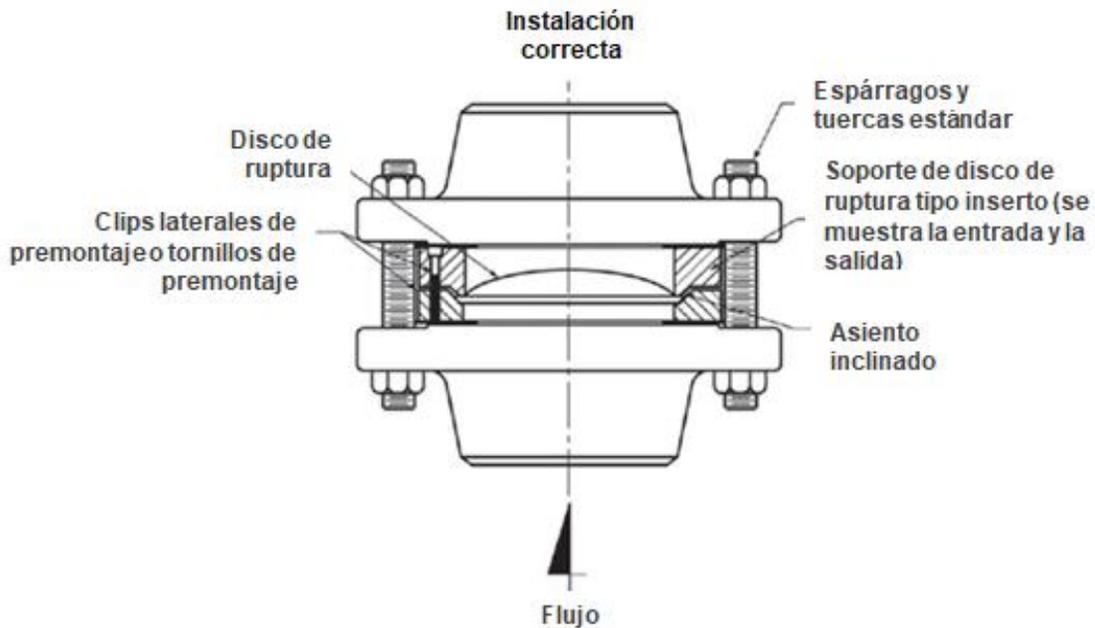
### **2.5.5.2—DISCOS DE RUPTURA COMPUESTOS DE ACCIÓN DIRECTA**

Un disco de ruptura compuesto de acción hacia adelante es un disco de construcción de varias piezas plano o abovedado. El disco de ruptura de material compuesto abovedado está diseñado para reventar a una presión nominal aplicada al lado cóncavo.

El disco de ruptura compuesto plano puede diseñarse para estallar a una presión nominal en una o en ambas direcciones. Algunos diseños no se fragmentan y son aceptables para su uso antes de una PRV.

El disco de ruptura de material compuesto abovedado está disponible en diseño de asiento plano o de asiento angular. La presión de rotura se controla mediante la combinación de ranuras y lengüetas en la sección superior y un miembro de sellado metálico o no metálico debajo de la sección superior.

Los discos de ruptura compuestos generalmente están disponibles con presiones de ruptura más bajas que las de los discos de ruptura sin estrías de acción directa. Los discos de ruptura compuestos pueden ofrecer una vida útil más larga como resultado de las propiedades resistentes a la corrosión del material de sellado seleccionado.

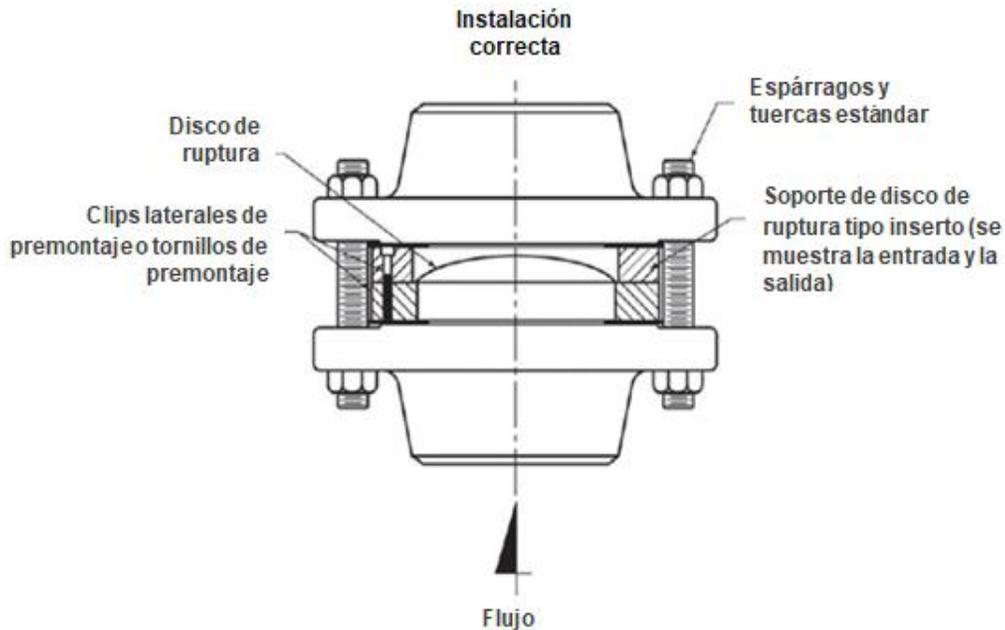


**FIGURA 20— DISCO DE RUPTURA DE METAL SÓLIDO DE ACCIÓN DIRECTA**

Las ranuras y lengüetas en la sección superior proporcionan un patrón de apertura predeterminado para el disco de ruptura. Si existen condiciones de vacío o contrapresión, los discos compuestos se pueden proporcionar con un soporte para evitar la flexión inversa. Un disco de ruptura de material compuesto abovedado generalmente proporciona una vida útil satisfactoria cuando la presión de funcionamiento es del 80% o menos de la presión de rotura marcada (relación de funcionamiento del 80%). Consulte al fabricante para conocer la relación operativa recomendada real para el disco específico que se está considerando.



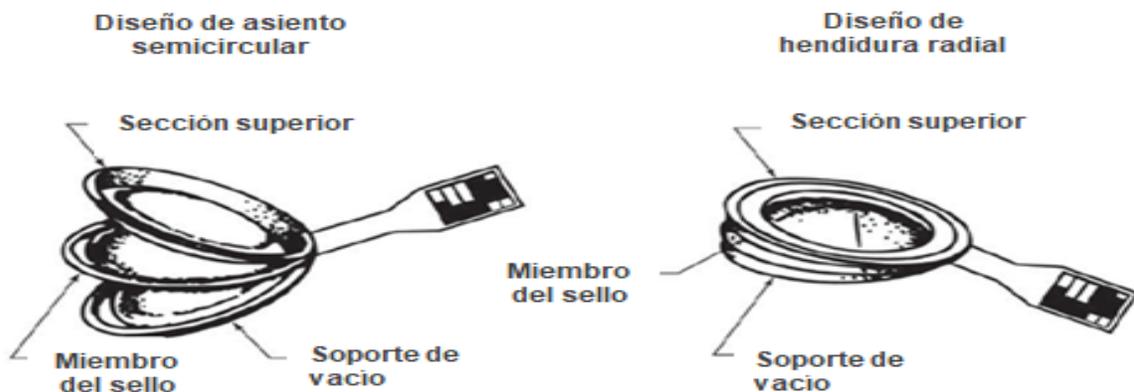
**FIGURA 20.1— DISCO DE RUPTURA ACCIÓN DIRECTA**



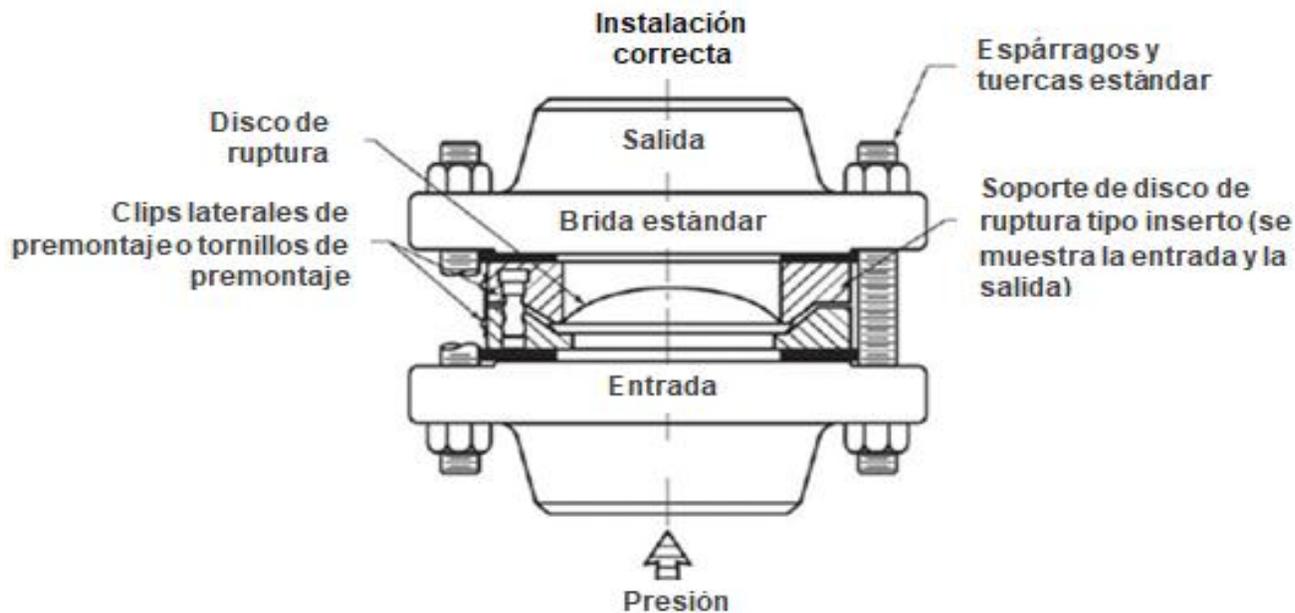
**FIGURA 21 — DISCO DE RUPTURA RANURADO DE ACCIÓN DIRECTA**

Un disco de ruptura compuesto plano está disponible para la protección de recipientes de baja presión o el aislamiento de equipos como colectores de escape o el lado de salida de una válvula de escape. Este disco generalmente viene completo con empaquetaduras y está diseñado para instalarse entre bridas complementarias en lugar de dentro de un soporte de disco de ruptura específico.

Los discos de ruptura compuestos planos generalmente brindan una vida útil satisfactoria cuando las presiones de operación son 50% o menos de la presión de ruptura marcada (relación de operación del 50%).



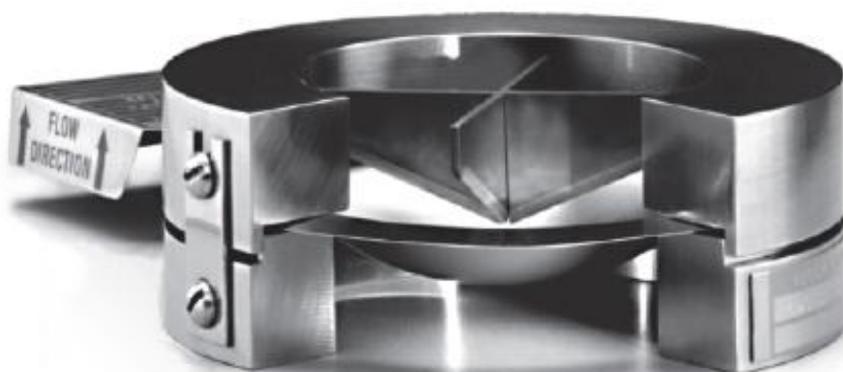
**FIGURA 21.1—DISCOS DE RUPTURA ACCIÓN DIRECTA**



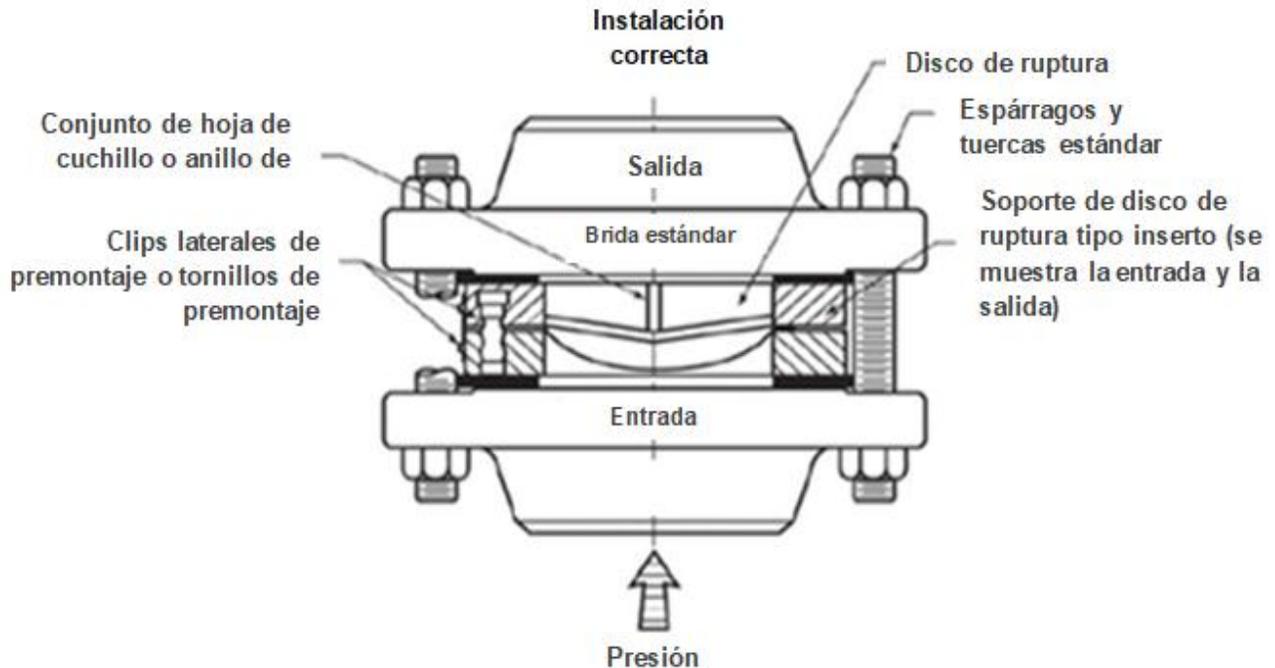
**FIGURA 22 — DISCO DE RUPTURA COMPUESTO DE ACCIÓN DIRECTA**

### 2.5.6—DISCOS DE RUPTURA DE ACCIÓN INVERSA

Un disco de ruptura de acción inversa es típicamente un disco de metal sólido formado (abovedado) diseñado para revertir y reventar a una presión nominal aplicada en el lado convexo. Los discos de ruptura de acción inversa están diseñados para abrirse mediante métodos tales como cuchillas de cizalla, anillos de dientes o líneas marcadas (consulte la Figura 23 y la Figura 24).



**FIGURA 22.1 —DISCOS DE RUPTURA ACCIÓN INVERSA**



**FIGURA 23 — DISCO DE RUPTURA DE ACCIÓN INVERSA CON CUCHILLAS**

Los discos de ruptura de acción inversa se pueden fabricar como no fragmentables y son adecuados para su instalación aguas arriba de las PRV.

Estos discos proporcionan una vida útil satisfactoria cuando las presiones de funcionamiento son del 90% o menos de la presión de rotura marcada (relación de funcionamiento del 90%). Algunos tipos de discos de pandeo inverso están diseñados para estar expuestos a presiones de hasta el 95% de la presión de rotura marcada.

Consulte al fabricante para conocer la relación operativa recomendada real para el disco específico que se está considerando.

Debido a que un disco de ruptura de acción inversa se opera con presión aplicada en el lado convexo, se pueden usar materiales de disco más gruesos, lo que disminuye los efectos de la corrosión, elimina la necesidad de soporte de vacío y brinda una vida útil más larga en condiciones de ciclos de presión / vacío y fluctuaciones de presión.

Las hojas de los cuchillos instaladas en los porta cuchillas deben estar fabricadas con material resistente a la corrosión y deben inspeccionarse periódicamente para asegurarse de que estén suficientemente afiladas para abrir el disco. Las hojas de las cuchillas desafiladas o dañadas pueden impedir la apertura adecuada del disco.

### 2.5.7—DISCOS DE RUPTURA DE GRAFITO

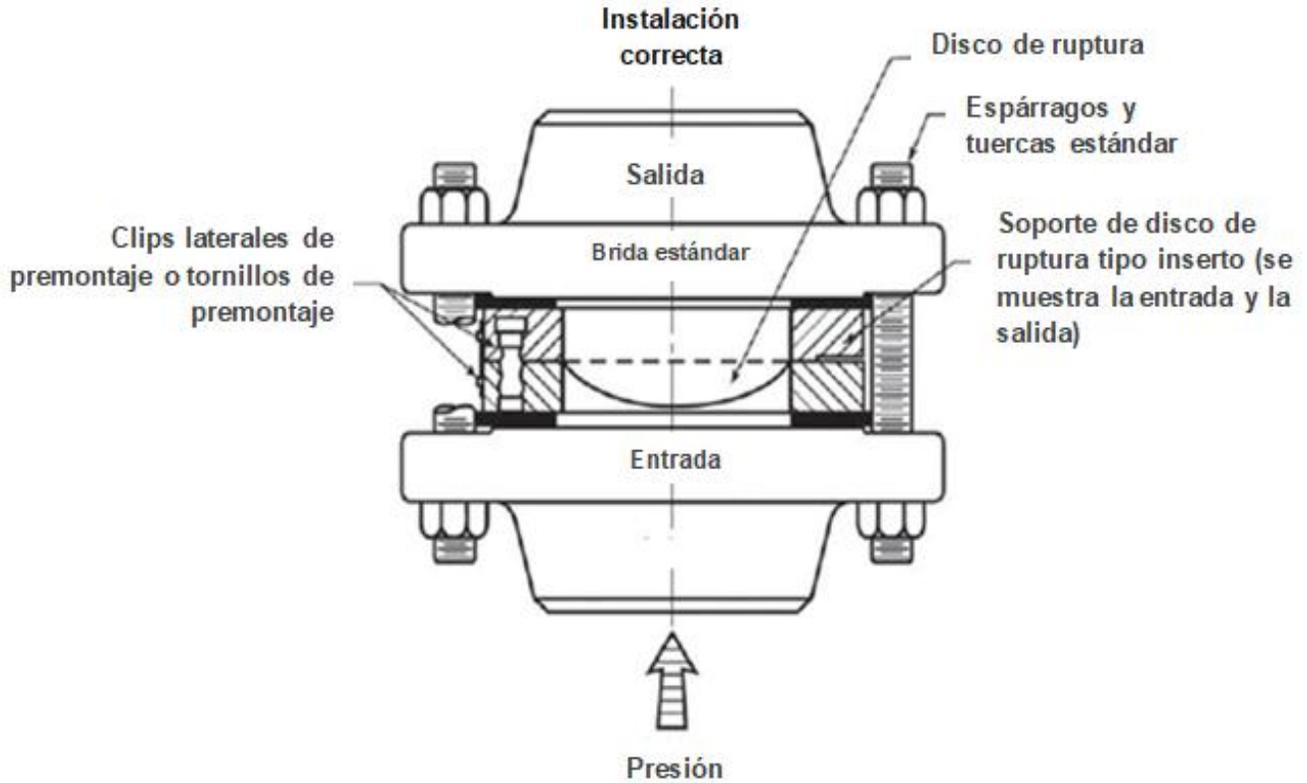
Los discos de ruptura de grafito generalmente se mecanizan a partir de una barra de grafito fino que se ha impregnado con un compuesto de sellado para sellar la porosidad de la matriz de grafito (consulte la Figura 25).

El disco opera con un diferencial de presión a través del diafragma central o la parte de la red del disco. Los discos de ruptura de grafito brindan una vida útil satisfactoria cuando las presiones de operación son hasta el 80% de la presión de ruptura marcada (relación de operación del 80%) y se pueden usar tanto en servicio de líquido como de vapor.

Consulte al fabricante para conocer la relación operativa recomendada real para el disco específico que se está considerando.

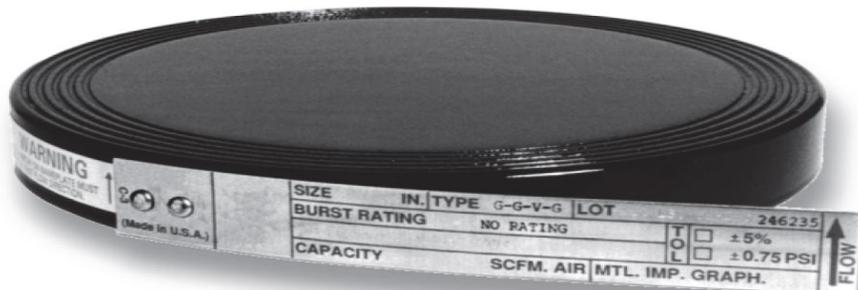


FIGURA 23.1 —DISCOS DE RUPTURA DE GRAFITO

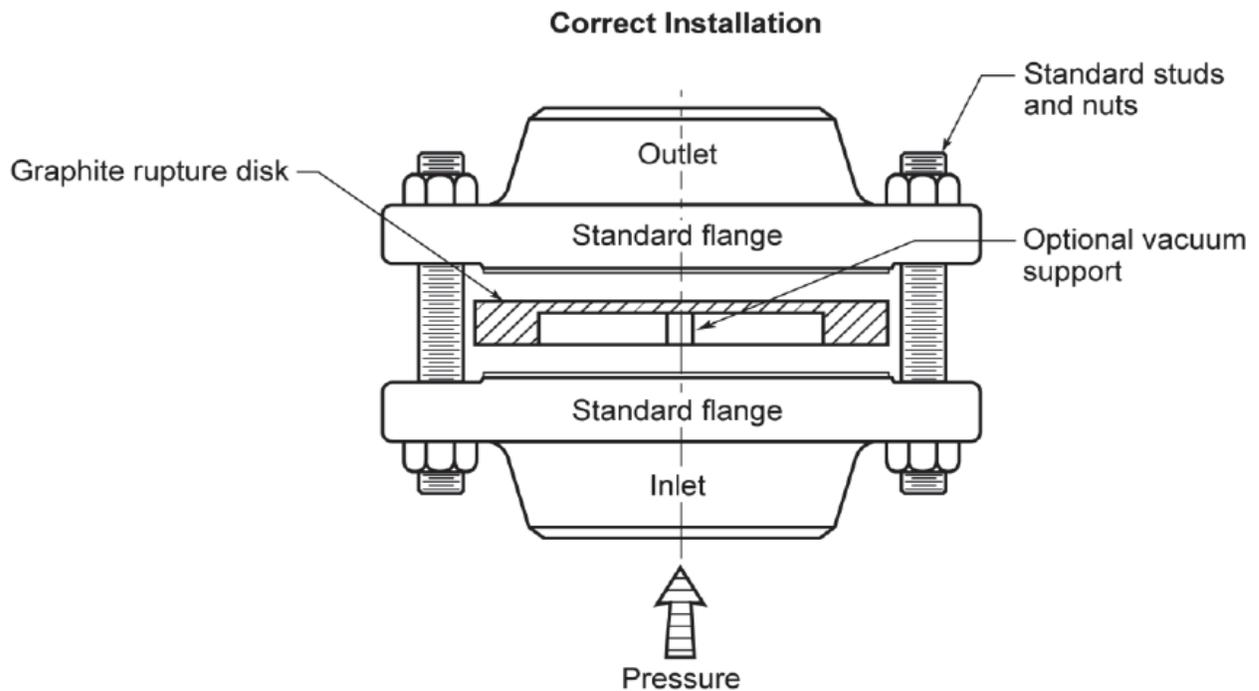


**FIGURA 24 — DISCO DE RUPTURA RANURADO DE ACCIÓN INVERSA**

Si existen condiciones de vacío o contrapresión, el disco se puede proporcionar con un soporte para evitar la flexión inversa. Estos discos tienen un patrón de apertura aleatorio y se consideran diseños fragmentados que no son adecuados para la instalación aguas arriba de una PRV. A menudo se agrega un anillo metálico llamado blindaje al diámetro exterior del disco para ayudar a soportar cargas de tubería desiguales y minimizar el potencial de agrietamiento del anillo de grafito exterior y escape del fluido del proceso.



**FIGURA 24.1 — ANILLO METÁLICO (BLINDAJE)**



**FIGURA 25 — DISCO DE RUPTURA DE GRAFITO**

### **2.5.8—SOPORTES PARA DISCOS DE RUPTURA**

Los soportes del disco de ruptura se utilizan para sujetar el disco de ruptura en su lugar y realizar un sello de metal a metal hermético. El área de asiento de los soportes suele ser exclusiva de fabricantes y estilos específicos de discos de ruptura. Los soportes de disco de ruptura están disponibles en una variedad de configuraciones que incluyen atornillado completo, cuello soldado, roscado, etc. La configuración más común es el tipo de inserto que encaja entre las bridas de tubería estándar, y el diámetro exterior del soporte encaja dentro de los espárragos de la brida. Los soportes para discos de ruptura están disponibles en una variedad de materiales y revestimientos.

### **2.5.9—ACCESORIOS PARA DISCOS DE RUPTURA**

Hay una variedad de accesorios disponibles para usar con discos de ruptura en diversas aplicaciones. A continuación se proporciona una breve descripción de algunos de estos componentes y su aplicación.

a) Sensores e indicadores de ruptura: estos dispositivos generalmente proporcionan una señal eléctrica o mecánica que puede indicar la apertura y / o fuga de un disco de ruptura o PRV.

- b) Monitores de alarma: los monitores de alarma están disponibles para monitorear los indicadores o sensores del disco de ruptura. Los monitores de alarma están disponibles con circuitos intrínsecamente seguros.
- c) Escudos térmicos: los escudos térmicos se instalan generalmente aguas arriba del disco de ruptura en procesos de alta temperatura para reducir la temperatura en el disco de ruptura.
- d) Placas deflectoras: al ventilar a la atmósfera, se pueden utilizar placas deflectoras para desviar la descarga del proceso lejos del personal y el equipo. Las placas deflectoras también se utilizan comúnmente para ayudar a absorber las fuerzas de retroceso de un disco de ruptura activo.

## **2.6—SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DEL DISCO DE RUPTURA**

La selección del disco de ruptura se basa en los parámetros operativos del sistema en el que está instalado.

El comprador debe especificar estos parámetros al comprar los discos de ruptura. Estos parámetros incluyen, entre otros:

- a) MAWP DE RECIPIENTE O TUBERÍA;
- b) ESTADO FLUIDO (VAPOR, LÍQUIDO O MULTIFÁSICO);
- c) RANGO DE PRESIONES OPERATIVAS Y TEMPERATURA OPERATIVA;
- d) SERVICIO CÍCLICO O PULSANTE;
- e) CAPACIDAD DE ALIVIO REQUERIDA O COEFICIENTE DE RESISTENCIA MÁXIMO;
- f) CORROSIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO;
- g) CONDICIONES DE VACÍO O CONTRAPRESIÓN;
- h) UBICACIÓN AGUAS ARRIBA O AGUAS ABAJO DE UNA PRV;
- i) DISPOSITIVOS ÚNICOS O MÚLTIPLES.

Los siguientes parámetros del disco de ruptura se seleccionan o determinan en función de los parámetros operativos del sistema anteriores:

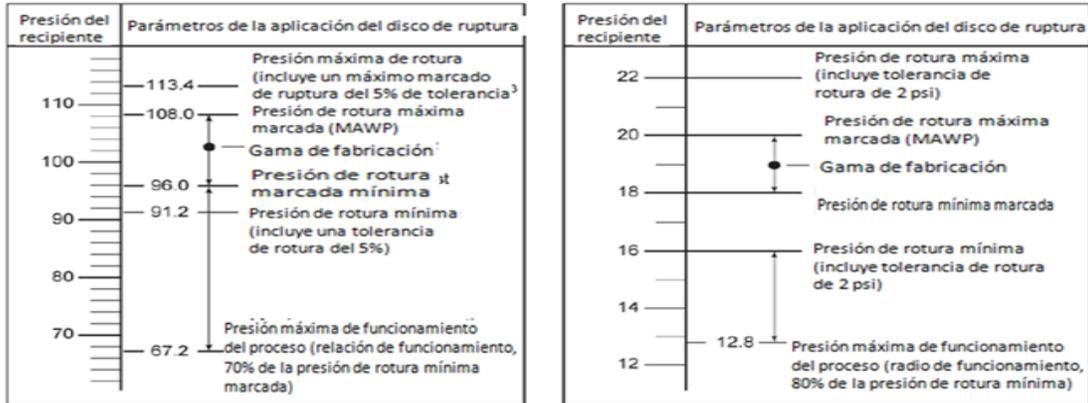
- 1) PRESIÓN Y TEMPERATURA DE ESTALLIDO (VER FIGURA 26)
- 2) RELACIÓN DE FUNCIONAMIENTO, RANGO DE DISEÑO DE FABRICACIÓN Y TOLERANCIA A LA ROTURA (VER FIGURA 27)
- 3) TIPO DE DISCO, MATERIAL Y CONSTRUCCIÓN
- 4) TAMAÑO DEL DISCO Y DEL SOPORTE

### **2.6.1—SELECCIÓN DE DISCO DE RUPTURA**

Los tipos de discos de ruptura y las características básicas de rendimiento, y pueden utilizarse como base para la selección. La relación entre las presiones del sistema y las características operativas de un dispositivo de disco de ruptura se muestra en la Figura 26.

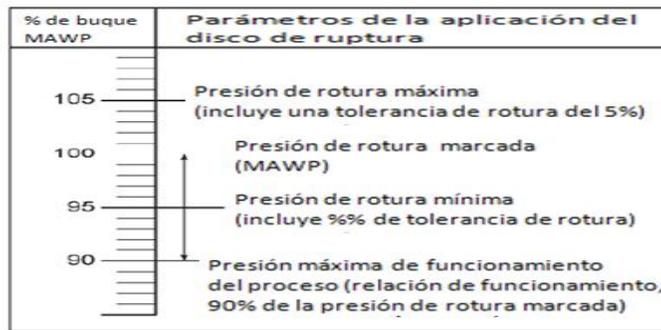
Dado que la presión de ruptura marcada de un disco de ruptura puede estar en cualquier lugar dentro de su rango de diseño de fabricación, se advierte al usuario que se asegure de que el límite superior del rango de diseño de fabricación no excede el MAWP del equipo que se está protegiendo.

Como se muestra en la Figura 27, cuando el disco tiene un rango de diseño de fabricación positivo, la presión de rotura marcada del disco puede ser mayor que la presión especificada.



A. Ejemplo de un disco de ruptura con una presión de ruptura especificada de 100 psig, rango de fabricación de + 8 / -4%, tolerancia de ruptura de + -5% y relación de operación del 70%.

C. Ejemplo de un disco de ruptura con una presión de ruptura especificada de 20 psig, rango de fabricación de + 0 / -10%, tolerancia de ruptura de + - 2 psi y relación de operación del 80%.



**B. EJEMPLO DE UN DISCO DE RUPTURA CON UNA PRESIÓN DE RUPTURA ESPECIFICADA DE 100 PSIG, RANGO DE FABRICACIÓN CERO, TOLERANCIA DE RUPTURA DE + - 5% Y UNA RELACIÓN DE OPERACIÓN DEL 90%.**

**NOTA 1 CONSULTE LA FIGURA 18 PARA CONOCER LOS LÍMITES DE LA PRESIÓN DE ROTURA MARCADA**

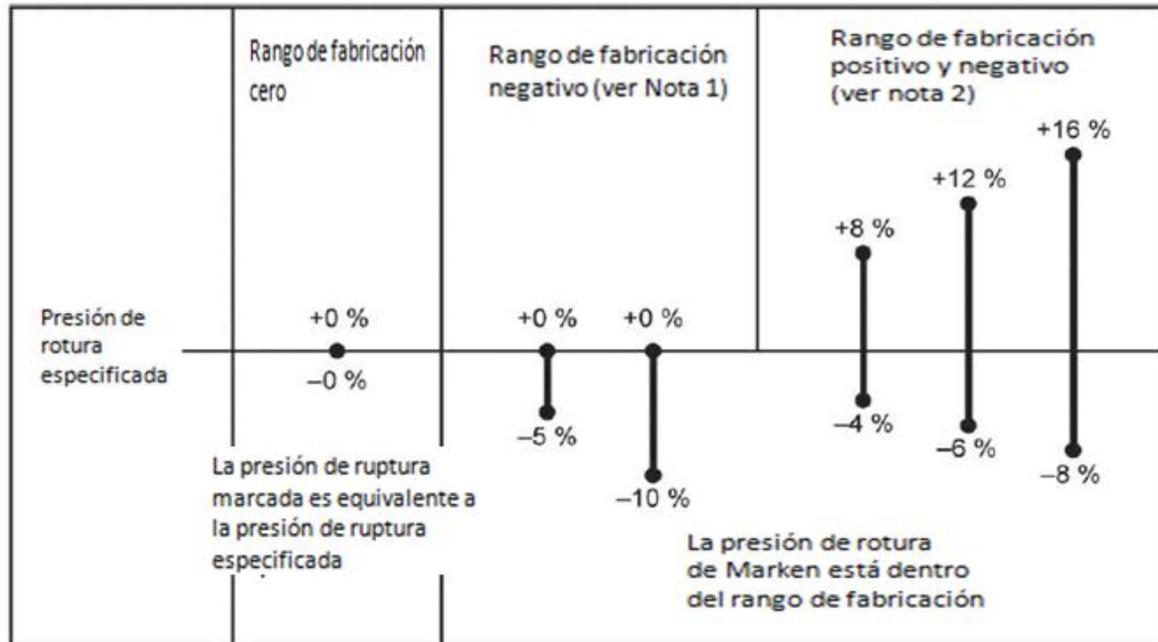
**NOTA 2 LA PRESIÓN DE ROTURA MARCADA PUEDE SER CUALQUIER PRESIÓN DENTRO DEL RANGO DE FABRICACIÓN, CONSULTE LA FIGURA 27.**

**NOTA 3 PARA PRESIONES DE ROTURA MARCADAS SUPERIORES A 40 PSIG, LA TOLERANCIA A ROTURA ES DE + -5%. PARA PRESIONES DE ROTURA MARCADAS A 40 PSIG E INFERIORES, LA TOLERANCIA DE ROTURA ES DE + -2 PSI.**

**NOTA 4 PARA PRESIONES DE ROTURA MARCADAS SUPERIORES A 40 PSIG, LAS PRESIONES OPERATIVAS MÁXIMAS DEL PROCESO SE CALCULAN MULTIPLICANDO LA PRESIÓN DE ROTURA MARCADA MÍNIMA POR LA RELACIÓN DE OPERACIÓN.**

**NOTA 5 PARA PRESIONES DE RUPTURA MARCADAS A 40 Y MENOS, LA PRESIÓN DE OPERACIÓN MÁXIMA DEL PROCESO SE CALCULA RESTANDO LA TOLERANCIA DE RUPTURA DE LA PRESIÓN DE RUPTURA MÍNIMA MARCADA, LUEGO MULTIPLICANDO LA DIFERENCIA POR LA RELACIÓN DE OPERACIÓN.**

**FIGURA 26 — PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL DISCO DE RUPTURA SUPONIENDO QUE NO HAY CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA**



**NOTA 1 LA PRESIÓN DE ROTURA MARCADA NO EXCEDERÁ LA PRESIÓN DE ROTURA ESPECIFICADA**

**NOTA 2 EL RANGO DE FABRICACIÓN POSITIVO PUEDE RESULTAR EN UNA MARCADA PRESIÓN DE RUPTURA QUE EXCEDA LA PRESIÓN DE RUPTURA ESPECIFICADA.**

**FIGURA 27 — TIPOS COMUNES DE RANGOS DE FABRICACIÓN Y MARCA DE PRESIÓN DE ROTURA CORRESPONDIENTE**

La presión máxima a la que se puede marcar un disco de ruptura para que explote es el límite superior de su rango de diseño de fabricación.

La presión mínima a la que se puede marcar un disco de ruptura para que estalle es el límite inferior de su rango de diseño de fabricación. La Figura 26 proporciona ejemplos gráficos de relaciones comunes entre la presión de rotura, el rango de diseño de fabricación, la tolerancia de rotura y la presión de funcionamiento.

La selección del disco de ruptura es un proceso iterativo y, a veces, complejo. El procedimiento que se indica a continuación debe utilizarse para la selección del disco de ruptura donde no hay contrapresión superpuesta. Consulte al fabricante para obtener ayuda si es necesario.

a) Seleccione el límite superior del rango de diseño de fabricación. Esto generalmente se basa en el MAWP del equipo protegido según lo determinado por el Código ASME o los requisitos del proceso. En algunas aplicaciones, como en la instalación de dispositivos

múltiples o complementarios, el límite superior del rango de diseño de fabricación puede exceder el MAWP del equipo protegido.

b) Determine la presión de ruptura especificada restando la parte positiva del rango de diseño de fabricación, como se indica en el catálogo del fabricante, del límite superior del rango de diseño de fabricación.

c) Determine el límite inferior del rango de diseño de fabricación restando la parte negativa del rango de diseño de fabricación, como se indica en el catálogo del fabricante, de la presión de rotura especificada.

d) Determine la relación de operación dividiendo la presión de operación máxima por el límite inferior del rango de diseño de fabricación.

e) Al calcular la relación de operación para discos con presiones de ruptura especificadas entre 15 psig y 40 psig (103 kPag y 276 kPag), reste la tolerancia de ruptura de 2 psi (14 kPa) del límite inferior del rango de diseño de fabricación antes de calcular la relación de funcionamiento.

Dado que algunos discos de ruptura se ofrecen a presiones extremadamente bajas muy por debajo de 15 psig (103 kPag), se recomienda a los usuarios que verifiquen las tolerancias de ruptura y los rangos de diseño de fabricación aplicables a esas presiones.

f) Seleccione un disco de ruptura en función de la presión de ruptura especificada y el rango de diseño de fabricación, y compare la relación de operación con la relación de operación máxima recomendada por el fabricante que se enumera en el catálogo de productos.

Si la relación de operación excede la relación de operación máxima recomendada por el fabricante, seleccione un rango de diseño de fabricación más pequeño, si está disponible, para ese estilo de disco o cambie el estilo de disco y repita los Pasos a) a e).

La contrapresión superpuesta complica significativamente el proceso de diseño y selección del dispositivo de disco de ruptura. La figura 28 proporciona un ejemplo de un disco de ruptura con contrapresión superpuesta.

El impacto de la contrapresión superpuesta se debe considerar al seleccionar la presión de ruptura especificada y determinar la relación de operación. También se tendrá en cuenta el caso de que la contrapresión superpuesta se reduzca inadvertidamente por debajo de la que se utilizó para especificar el disco, ya que esto podría dar lugar a una activación no deseada del disco.

Para la mayoría de los sistemas cerrados, la contrapresión superpuesta normalmente varía entre una presión mínima y máxima.

Para el dispositivo de disco de ruptura particular que se está diseñando, la contrapresión superpuesta normalmente no incluye la presión causada por otros dispositivos de alivio que se ventilan en el sistema cerrado a menos que esa presión haga que la presión de alivio exceda la presión acumulada permitida por el código. Sin embargo, la contrapresión, causada por la ventilación de otros dispositivos de alivio, aún debe considerarse al especificar el disco y puede resultar en adiciones como un soporte de vacío o contrapresión para proteger el disco.

### **2.6.2—ESPECIFICACIÓN DEL DISPOSITIVO DE DISCO DE RUPTURA**

La documentación completa y precisa de las condiciones del proceso y las especificaciones del dispositivo de disco de ruptura es un elemento clave para seleccionar el disco de ruptura adecuado.

### **2.6.3—DISPOSITIVOS ACCIONADOS POR CLAVIJAS**

Los dispositivos de alivio de presión accionados por pasadores son dispositivos que no se reconectan y consisten en un disco móvil expuesto al sistema de presión y un mecanismo externo que aloja un pasador que está vinculado mecánicamente al disco. Los pasadores pueden estar cargados en tensión (rotura de pasadores) o en compresión (pasadores de pandeo, ver Figura 29).

El pasador restringe el movimiento del disco hasta que se alcanza la presión de ajuste especificada. En este punto, el pin falla y el disco se abre.

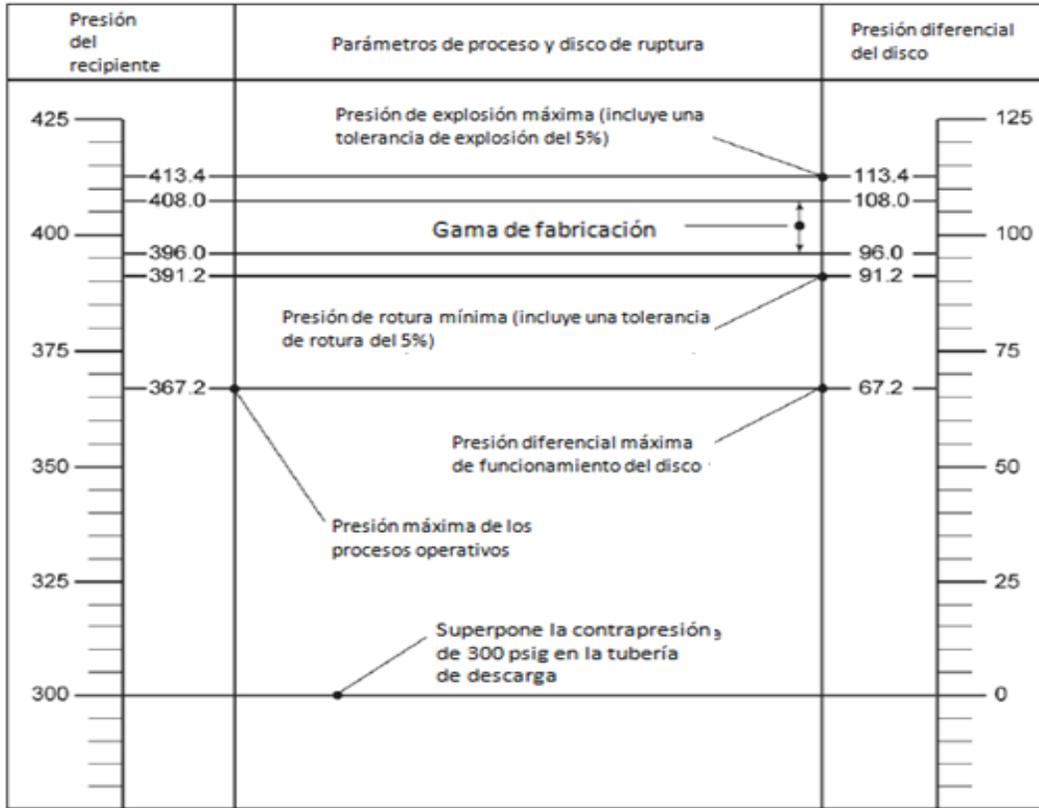
### **2.6.4—DISPOSITIVOS DE PASADOR DE PANDEO**

Los dispositivos de pasador de pandeo, como se muestra en la Figura 29, son dispositivos accionados por pasadores cargados por compresión y son el tipo de dispositivo accionado por pasadores más utilizado.

Los dispositivos de pasador de pandeo cargados por compresión son muy estables y muy adecuados para aplicaciones que tienen condiciones de funcionamiento cíclicas y una presión de funcionamiento para establecer una relación de presión mayor o igual al 90%.

Los dispositivos de perno de pandeo pueden ser sensibles a presiones diferenciales. Las condiciones de funcionamiento en ambos lados del dispositivo deben ser revisadas entre el usuario y el fabricante.

Consulte UG-127 (b) y UG-138 del Código ASME para conocer el tamaño, la aplicación y los requisitos mínimos para los dispositivos de pasador de pandeo.



NOTA 1 ESTA FIGURA ES UN EJEMPLO DE UN DISCO DE RUPTURA CON:

- A. PRESIÓN DE ROTURA ESPECIFICADA DE 100 PSI
- B. RANGO DE FABRICACIÓN DE + 8 / -4%
- C. TOLERANCIA A LA PRESIÓN DE ROTURA DE + - 5%
- D. RELACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL 70% (0,7 X 96,0 PSI = 67,2 PSI). CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA DE 300 PSIG
- F. MAWP DEL RECIPIENTE IGUAL O SUPERIOR A 408 PSIG

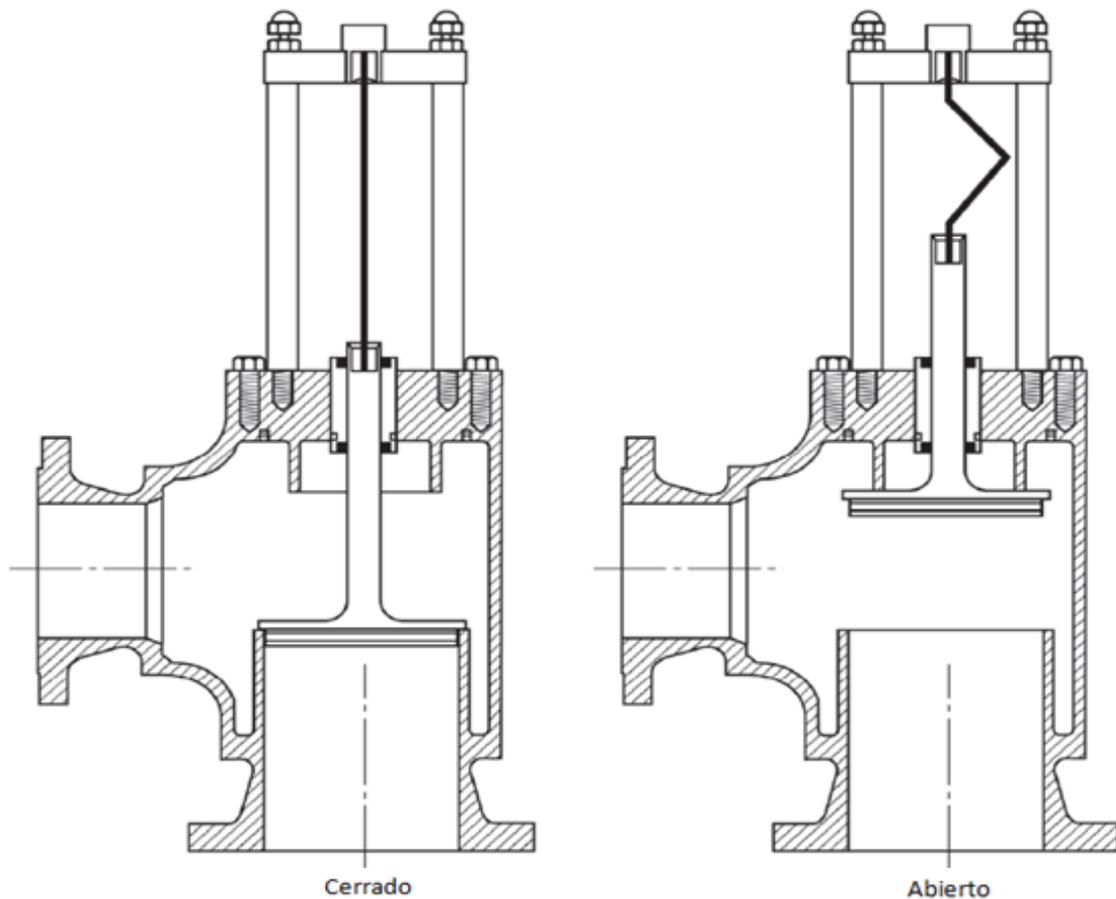
NOTA 2 EL DISCO DE ESTA FIGURA ESTÁ DISEÑADO PARA SER IDÉNTICO AL DISCO DE LA FIGURA 26A. ENTONCES LOS DISCOS SON INTERCAMBIABLES. ESTO EN ESTA FIGURA (Y EN LA FIGURA 26A) PUEDE ESTAR MARCADO EN CUALQUIER LUGAR DEL RANGO DE FABRICACIÓN, DESDE 96 PSI A 108 PSI.

NOTA 3 LA CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA EN ESTE EJEMPLO ES MAYOR QUE LA QUE SE ENCUENTRA NORMALMENTE PARA AMPLIFICAR LA DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN DEL RECIPIENTE Y LA PRESIÓN DIFERENCIAL A TRAVÉS DEL DISCO DE RUPTURA.

NOTA 4 LA PRESIÓN DIFERENCIAL DEL DISCO ES IGUAL A LA PRESIÓN DEL RECIPIENTE MENOS LA CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA.

NOTA 5 SE ADVIERTE AL USUARIO QUE NO EXCEDA LA PRESIÓN DIFERENCIAL MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO DEL DISCO DURANTE TODO EL CICLO DEL PROCESO, INCLUIDOS EL ENCENDIDO Y APAGADO.

**FIGURA 28 — PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL DISCO DE RUPTURA CON CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA**



**FIGURA 29 — VÁLVULA DE PASADOR DE PANDEO**

### **2.6.5—ESTABLECER PRESIÓN Y TEMPERATURA**

La presión de ajuste del dispositivo accionado por clavija debe ser determinada por el usuario, y se debe establecer con el fabricante una tolerancia de presión de ajuste acordada a cada lado de la presión de ajuste nominal. Las partes húmedas del dispositivo deben estar diseñadas para cumplir con la temperatura del proceso para asegurar que se seleccionen materiales aceptables.

Sin embargo, dado que la clavija es externa al proceso, la clavija no está expuesta a las condiciones de temperatura del proceso sino a las condiciones ambientales externas.

Por lo tanto, la clavija se diseñará en función de la temperatura ambiente externa para garantizar que la presión establecida del dispositivo se establezca correctamente.

Los pasadores de pandeo cargados por compresión tienen una baja sensibilidad a la temperatura. Sin embargo, si un dispositivo de clavija verá servicio en un amplio rango de temperaturas ambientales, o fuera de un rango de temperatura ambiente, entonces se debe consultar al fabricante con respecto al cambio en la presión de ajuste. En algunos casos, se puede recomendar realizar pruebas de temperatura específicas de los pines antes de la entrega del dispositivo.

#### **2.6.6—ESTANCAMIENTO CONTRA FUGAS**

El dispositivo de pasador de pandeo usa típicamente sellos de elastómero. El material del sello debe elegirse cuidadosamente para satisfacer tanto las condiciones químicas como las temperaturas de servicio previstas. Se recomienda que la estanqueidad del dispositivo se pruebe según API 527 antes del envío por parte del fabricante. Si la aplicación es un servicio de vacío y / o existe contrapresión, se debe notificar al fabricante para garantizar un sellado adecuado en tales condiciones.

#### **2.6.7—MARCADO Y ETIQUETADO**

El dispositivo de pasador de pandeo debe estar claramente marcado para indicar la dirección del flujo, la presión de ajuste, el tamaño nominal, el número de serie y la designación del modelo o tipo, los materiales de construcción y el fabricante. Cada pin, o etiqueta adjunta a cada pin, debe estar marcado con el fabricante, número de lote, modelo o tipo de dispositivo, conjunto de presión e identificador de pin / dispositivo. El número de lote debe aparecer en el informe de certificación del fabricante, junto con el número de serie del dispositivo o el identificador del dispositivo para el que se han calibrado los pines.

#### **2.6.8—ROMPER LOS DISPOSITIVOS DE CLAVIJA**

Un dispositivo de pasador de rotura es un dispositivo de alivio de presión que no se reconecta con un disco móvil sostenido en la posición cerrada por un pasador cargado en tensión. Cuando la presión alcanza la presión establecida del dispositivo, el pasador

se rompe y el disco se abre. Los dispositivos de pasador de rotura se utilizan generalmente en combinación con un PRV cuando la estanqueidad de la válvula es un problema, por ejemplo, en entornos corrosivos o vibrantes como en recipientes de transporte de fluidos.

Los dispositivos de pasador de rotura están diseñados para funcionar a una presión diferencial especificada. Si se permite que se acumule presión en el lado aguas abajo del dispositivo de pasador de rotura, la presión de apertura aumentará. Por lo tanto, el espacio entre un dispositivo de pasador de rotura y una PRV debe contar con un manómetro, una llave de prueba, un respiradero libre o un indicador de advertencia adecuado para detectar cualquier acumulación de presión en esa cavidad. Consulte UG-127 (b) y UG-138 de ASME BPVC, Sección VIII, División 1 para conocer el tamaño, la aplicación y los requisitos mínimos para los dispositivos de pasador de rotura.

### **2.6.9—RUTAS DE FLUJO ABIERTAS O CONDUCTOS DE VENTILACIÓN**

Se puede usar una vía de flujo o ventilación que esté abierta directa o indirectamente a la atmósfera como único dispositivo de alivio para proteger los recipientes, tuberías y otros equipos de una presión y / o vacío excesivos. Con un análisis adecuado para determinar la capacidad calculada, se pueden especificar conductos de flujo abiertos o venteos para sistemas con requisitos de alivio de vapor (gas) y / o líquido.

### **2.6.10—OTROS TIPOS DE DISPOSITIVOS**

Otros dispositivos de alivio de presión no descritos en esta sección se especifican ocasionalmente en refinerías e industrias relacionadas. Los usuarios deben consultar al fabricante para obtener información sobre diseños y aplicaciones especiales.

## **2.7—PROCEDIMIENTOS DE DIMENSIONAMIENTO**

### **2.7.1—DETERMINACIÓN DE LOS REQUISITOS DE ALIVIO**

Para establecer el diseño de un dispositivo de alivio de presión para cualquier aplicación, se debe determinar primero las condiciones para las cuales se puede requerir protección contra sobrepresión. Se debe tener cuidado al establecer las diversas contingencias que podrían resultar en sobrepresión.

Las contingencias que pueden causar sobrepresión, se evaluarán en términos de las presiones generadas y las tasas a las que se requiere el alivio de los fluidos.

Los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP), Balances de Masa, Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI), Especificaciones del Equipo y las Bases de Diseño de la instalación son necesarios para calcular las tasas de alivio individuales para cada dispositivo de alivio de presión. Los datos de proveedores de equipos de proceso también son útiles si están disponibles.

API 521 enumera una serie de condiciones operativas comunes para las cuales se puede requerir protección contra sobrepresión. Esta lista no está de ninguna manera completa; cada planta puede tener características únicas que se considerarán además de las enumeradas. API 521 proporciona una discusión detallada de los requisitos de alivio para estas condiciones de operación de emergencia. API 521 también proporciona una discusión detallada de los requisitos de alivio para el caso especial de incendio.

### **2.7.2—ÁREA EFECTIVA POR PARTE DE (API) Y COEFICIENTE DE DESCARGA EFECTIVO**

Las PRV se pueden dimensionar inicialmente usando ecuaciones presentadas en esta tesis, según sea apropiado para vapores, gases, líquidos o fluidos de dos fases. Estas ecuaciones utilizan coeficientes efectivos de descarga y áreas efectivas que son independientes de cualquier diseño de válvula específico. De esta manera, el diseñador puede determinar un tamaño de PRV preliminar.

El diseñador puede usar API 526 para seleccionar una PRV. API 526 es una especificación de compra para válvulas con bridas de acero. Esta norma enumera configuraciones de válvulas específicas especificadas por tamaño de entrada / salida y configuración de brida, materiales de construcción, límites de presión / temperatura, dimensiones de entrada y salida del centro a la cara, y designación efectiva del orificio.

Cuando se especifica una válvula según esta norma, el tamaño del orificio se expresa en términos de una designación de letra que va desde la más pequeña, "D", hasta la más grande, "T". Se especifica un área efectiva para cada orificio de letra.

Las áreas de orificio efectivas enumeradas en API 526 y el coeficiente de descarga efectivo usado para la selección inicial son valores nominales que no están directamente relacionados con un diseño de válvula específico.

El coeficiente de descarga nominal para una PRV, según lo determinado por las normas de certificación aplicables, es generalmente menor que el coeficiente de descarga efectivo usado en API 520 (particularmente para válvulas de servicio de vapor donde el coeficiente de descarga efectivo es 0.975).

Esto es cierto para las válvulas certificadas según las reglas del Código ASME, donde el coeficiente promedio de una serie de resultados de pruebas de válvulas se multiplica por 0.9 para establecer un coeficiente nominal de descarga. Por esta razón, el área real de descarga u orificio para la mayoría de los diseños de válvulas es mayor que el área de descarga efectiva especificada para ese tamaño de válvula según API 526. Esto permite que la capacidad nominal de la mayoría de los diseños de válvulas alcance o exceda la capacidad estimada para el dimensionamiento preliminar determinado según los cálculos de API 520.

Cuando se selecciona un diseño de válvula específico para una aplicación, la capacidad nominal de esa válvula se puede determinar utilizando el área real del orificio, el coeficiente nominal de descarga y las ecuaciones presentadas en este documento. Esta capacidad de alivio nominal se usa luego para verificar que la válvula seleccionada tenga la capacidad suficiente para satisfacer la aplicación.

Es importante recordar que el área efectiva y el coeficiente de descarga efectivo se utilizan solo para la selección inicial. El área real del orificio y el coeficiente nominal de descarga se deben usar siempre para verificar la capacidad real de la PRV. En ningún caso se debe utilizar un área efectiva con un coeficiente de descarga nominal para calcular la capacidad de una PRV. De manera similar, un área real no debe usarse junto con un coeficiente de descarga efectivo.

En resumen, el tamaño de orificio efectivo y el coeficiente de descarga efectivo especificado en las normas API son valores asumidos que se utilizan para la selección inicial de un tamaño de PRV a partir de las configuraciones especificadas en API 526, independientemente del diseño individual del fabricante de la válvula.

En la mayoría de los casos, el área real y el coeficiente de descarga nominal para una válvula de orificio de letra API están diseñados para que la capacidad certificada real cumpla o exceda la capacidad calculada usando los métodos presentados en API 520. Sin embargo, existen varias válvulas diseños donde esto no es así.

Cuando se selecciona la PRV, por lo tanto, el área real y el coeficiente nominal de descarga para esa válvula se utilizarán para verificar la capacidad nominal de la válvula seleccionada y para verificar que la válvula tiene capacidad suficiente para satisfacer la aplicación.

## 2.8—CONTRAPRESIÓN

La presión existente en la salida de una válvula de escape se define como contrapresión.

Independientemente, si la válvula se ventila directamente a la atmósfera o la descarga se canaliza a un sistema de recolección, la contrapresión puede afectar el funcionamiento de la PRV. Los efectos debidos a la contrapresión pueden incluir variaciones en la presión de apertura, reducción de la capacidad de flujo, inestabilidad o una combinación de los tres.

**La contrapresión que está presente en la salida de una PRV, cuando se requiere para operar se define como contrapresión superpuesta.** Esta contrapresión puede ser constante si la salida de la válvula está conectada a un recipiente de proceso o sistema que se mantiene a una presión constante. En la mayoría de los casos, sin embargo, la contrapresión superpuesta será variable como resultada de las condiciones cambiantes que existen en el sistema de descarga.

**La contrapresión que se desarrolla en el sistema de descarga después de que se abre la PRV se define como contrapresión acumulada.**

La contrapresión acumulada se produce debido a la caída de presión en el sistema de descarga como resultado del flujo de la PRV. Los tubos de escape cortos que se ventilan directamente a la atmósfera generalmente dan como resultado contrapresiones acumuladas más bajas que los sistemas de descarga largos.

Sin embargo, el flujo ahogado puede ocurrir en la salida incluso de los tubos de escape cortos ventilados directamente a la atmósfera, lo que resulta en una alta contrapresión acumulada. Por esta razón, la magnitud de la contrapresión acumulada debe evaluarse para todos los sistemas, independientemente de la configuración de la tubería de salida. La magnitud de la contrapresión que existe a la salida de una PRV, una vez abierta, es el total de la contrapresión superpuesta y acumulada.

### 2.8.1—EFECTOS DE LA CONTRAPRESIÓN SUPERPUESTA EN LA APERTURA DE LA PRV

La contrapresión superpuesta en la salida de una PRV convencional con resorte actúa para mantener el disco de la válvula cerrado con una fuerza aditiva a la fuerza del resorte. El ajuste real del resorte se puede reducir mediante una cantidad igual a la contrapresión superpuesta para compensar esto.

Las PRV balanceadas utilizan un fuelle o pistón para minimizar o eliminar el efecto de la contrapresión superpuesta sobre la presión establecida.

Muchas PRV operadas por piloto tienen pilotos que se ventilan a la atmósfera o están equilibrados para mantener la presión establecida en presencia de contrapresión variable

superpuesta. Se deben considerar PRV balanceadas con resorte u operadas por piloto si la contrapresión superpuesta es variable. Sin embargo, si la cantidad de contrapresión variable superpuesta es pequeña, se podría utilizar una válvula convencional siempre que:

a) La presión de ajuste en banco (CDTP) se ha compensado adecuadamente por la contrapresión superpuesta, y b) La presión máxima durante el alivio no excede los límites permitidos por el código para la acumulación en el equipo protegido.

Por ejemplo, las válvulas convencionales se utilizan a menudo cuando la salida se canaliza a un colector de alivio sin compensar las presiones establecidas para la contrapresión superpuesta causada por otros dispositivos de alivio. Este enfoque se puede utilizar siempre que no se exceda la acumulación permitida durante la liberación.

## **2.8.2—EFECTOS DE LA CONTRAPRESIÓN EN LA OPERACIÓN DE LA PRV Y LA CAPACIDAD DE FLUJO**

### **2.8.3—PRV CONVENCIONALES**

Los PRV convencionales muestran un desempeño insatisfactorio, cuando se desarrolla una contrapresión excesiva durante un incidente de alivio, debido al flujo a través de la válvula y la tubería de salida. La contrapresión acumulada se opone a la fuerza de elevación que mantiene abierta la válvula.

La contrapresión acumulada excesiva puede hacer que la válvula funcione de manera inestable. Esta inestabilidad puede ocurrir en forma de aleteo o parloteo. La vibración se refiere al movimiento alternativo anormalmente rápido del disco de la PRV donde el disco hace contacto con el asiento de la PRV durante el ciclismo. Este tipo de operación puede dañar la válvula y las tuberías de interconexión. El aleteo es similar al parloteo excepto que el disco no entra en contacto con el asiento durante el ciclismo.

En una aplicación de PRV convencional, cuando la sobrepresión permitida es del 10%, la contrapresión acumulada no debe exceder el 10% de la presión establecida. Se puede usar una contrapresión acumulada máxima permitida más alta para sobrepresiones permitidas superiores al 10% siempre que la contrapresión acumulada no exceda la sobrepresión permitida. Por ejemplo, para el caso de incendio, donde la PRV se establece en MAWP, la contrapresión acumulada no debe exceder el 21% de la presión establecida.

Otro ejemplo es un caso de no incendio donde se instalan dos válvulas con una PRV configurada en MAWP y una configurada en 1.05 veces MAWP; la contrapresión acumulada no debe exceder el 16% y el 10% de las respectivas presiones establecidas. Cuando la contrapresión superpuesta es constante, la carga del resorte puede reducirse para compensar la contrapresión superpuesta. Cuando la tubería aguas abajo se diseña dentro de los criterios de contrapresión anteriores, no se requiere corrección de la capacidad de contrapresión ( $K_b = 1.0$ ) en las ecuaciones de dimensionamiento de la válvula, para gases

en flujo crítico o para líquidos. Cuando se espera que la contrapresión exceda estos límites especificados, se debe especificar una PRV balanceada u operada por piloto.

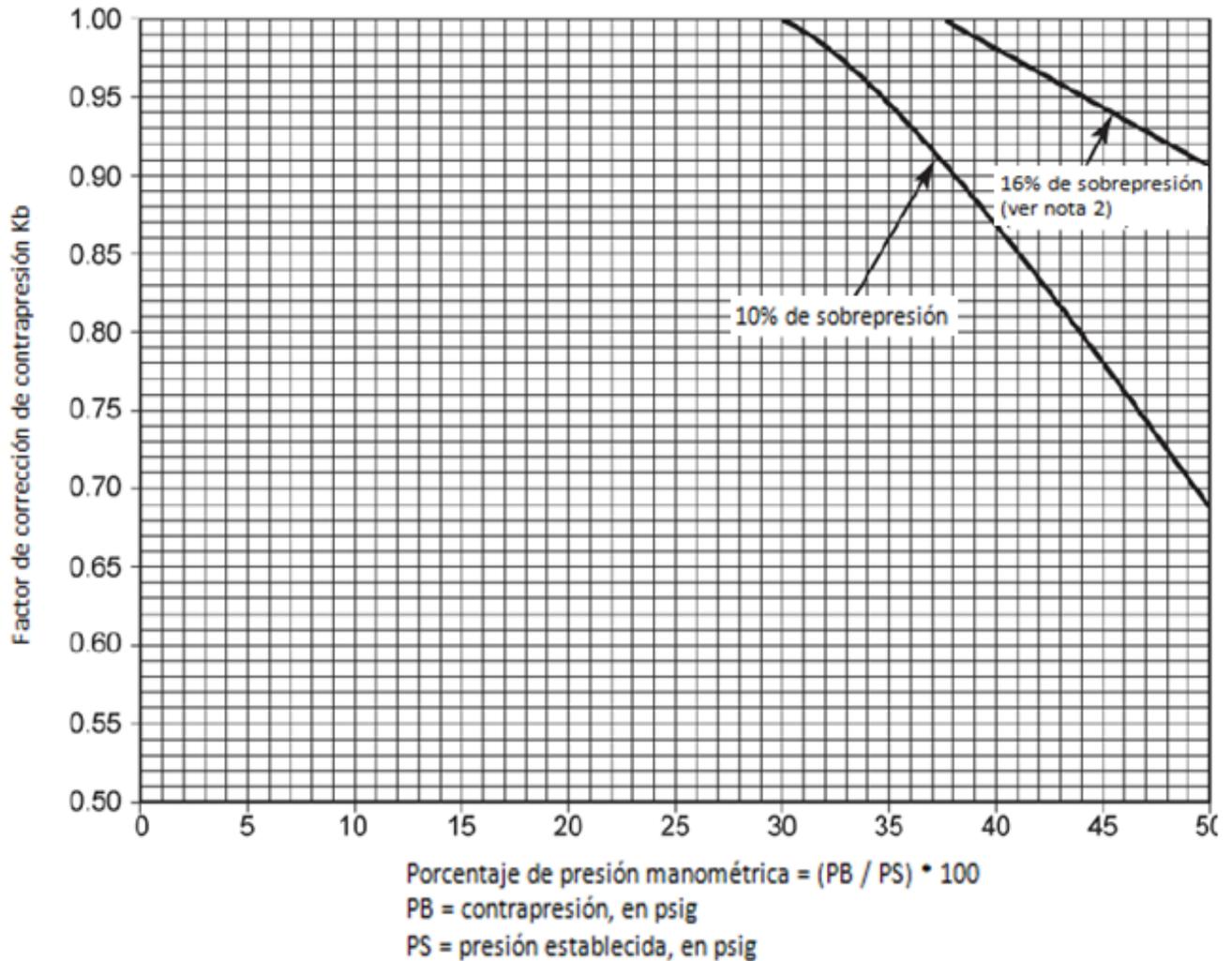
Tenga en cuenta que las limitaciones de contrapresión acumulada discutida anteriormente no se aplican necesariamente a las válvulas con diseño de bonete abierto debido a la naturaleza de su diseño. Consulte al fabricante para obtener orientación.

#### **2.8.4—PRV EQUILBRADAS**

Se debe usar una PRV balanceada donde la contrapresión acumulada es demasiado alta para las PRV convencionales o donde la contrapresión superpuesta varía ampliamente en comparación con la presión de ajuste. Las válvulas equilibradas se pueden aplicar típicamente donde la contrapresión total (superpuesta más acumulada), no exceda aproximadamente el 50% de la presión de ajuste. Se debe consultar al fabricante específico con respecto a la limitación de contrapresión de un diseño de válvula en particular.

Con una válvula equilibrada, la contrapresión alta tenderá a producir una fuerza de cierre en la parte desequilibrada del disco. Esta fuerza puede resultar en una reducción en la sustentación y una reducción asociada en la capacidad de flujo. Los fabricantes proporcionan factores de corrección de capacidad, llamados factores de corrección de contrapresión, para tener en cuenta esta reducción en el flujo. Los factores de corrección de contrapresión típicos se pueden encontrar para el servicio de fluido compresible en la Figura 30 y para el servicio de fluido incompresible (líquido) en la Figura 31. Para aplicaciones de servicio de líquido, el factor que se muestra en la Figura 31 es aplicable para todas las sobrepresiones. Sin embargo, para el servicio de fluido compresible, el factor puede variar dependiendo de si la sobrepresión permitida es del 10%, 16% o 21%.

**NOTA Los factores de corrección de la contrapresión de la Figura 30 y la Figura 31 son adecuados para los procedimientos de dimensionamiento preliminares que se encuentran en este documento. Los cálculos finales de tamaño siempre deben completarse utilizando las tablas reales del fabricante. En algunas aplicaciones, la presión de ajuste puede ser significativamente menor que la MAWP, lo que permite sobrepresiones superiores a las especificadas anteriormente. En tales casos, se debe consultar al fabricante para obtener orientación.**



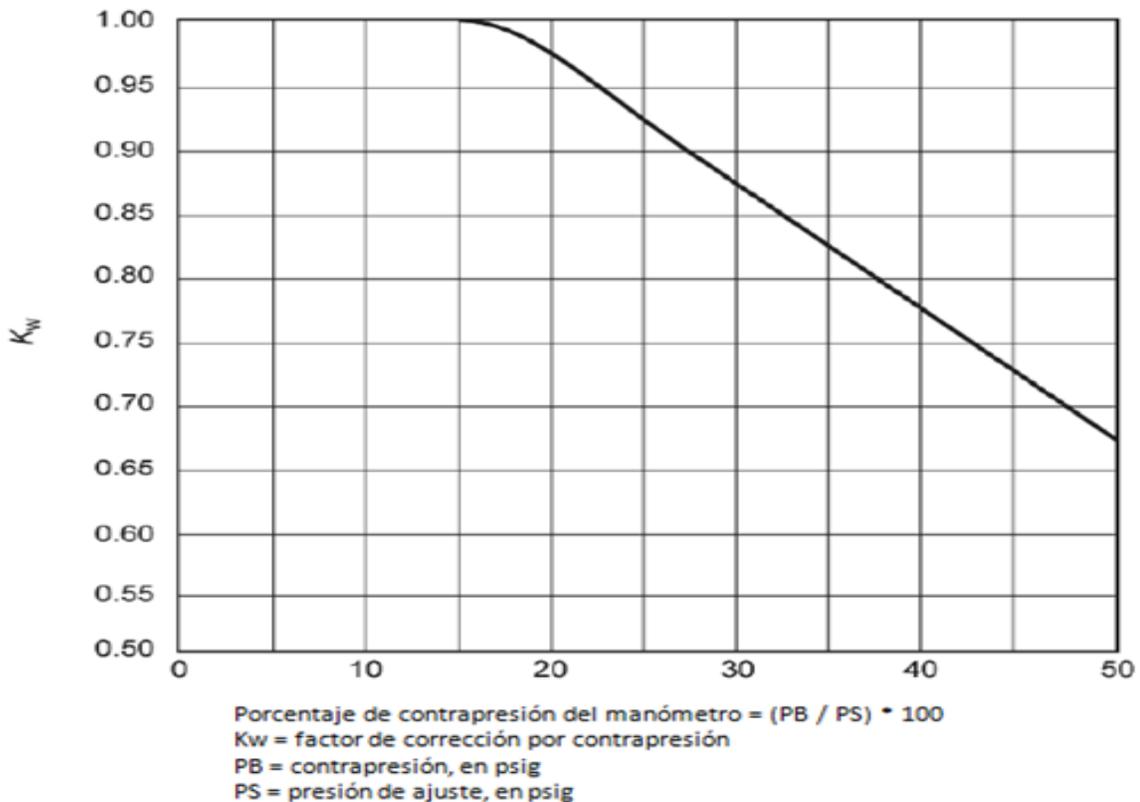
Nota 1 Las curvas anteriores representan un compromiso de los valores recomendados por varios fabricantes de válvulas de alivio y pueden usarse cuando se desconoce la marca de la válvula o la válvula o el punto crítico de presión de flujo para el vapor o el gas. Cuando se conoce la marca de la válvula, se debe consultar al fabricante para conocer el factor de corrección. Estas curvas son para presiones establecidas de 50 psig y superiores. Están limitados a la contrapresión por debajo de la presión de flujo crítica para una presión establecida determinada. Para presiones establecidas por debajo de 50 psig o para volado subcrítico, se debe consultar al fabricante para conocer los valores de Kb.

Nota 2 Para una sobrepresión del 21%, Kb equivale a 1,0 hasta PB / PS = 50%.

**FIGURA 30 — FACTOR DE CORRECCIÓN DE CONTRAPRESIÓN, KB, PARA PRV CON RESORTE DE EQUILIBRIO (VAPORES Y GASES)**

En la mayoría de las aplicaciones, la sobrepresión permitida es del 10% y se debe utilizar el factor de corrección de la contrapresión para una sobrepresión del 10%. En el caso especial de instalaciones de varias válvulas, la válvula de ajuste bajo puede funcionar a sobrepresiones de hasta el 16%. Se puede usar un factor de corrección de contrapresión

para una sobrepresión del 16% para esa válvula de ajuste bajo. Sin embargo, la válvula de ajuste alto está operando a una sobrepresión máxima del 10% (asumiendo que la válvula de ajuste alto está ajustada al 105% del MAWP) y el factor de corrección de contrapresión para una sobrepresión del 10% se utilizará para esa válvula de ajuste alto. Una válvula suplementaria utilizada para un peligro adicional creado por la exposición al fuego (ver 5.4.3.4), se puede configurar para que se abra a un 10% por encima del MAWP. En este caso, se utilizará el factor de corrección de contrapresión para una sobrepresión del 10% porque la válvula en realidad está operando con una sobrepresión del 10%, aunque la acumulación sea del 21%. Al calcular la capacidad adicional para la primera válvula (sin fuego) con una sobrepresión del 21%, se puede usar un factor de corrección de contrapresión de 1.0 (para contrapresiones de hasta el 50% de la presión establecida, consulte la Figura 30, Nota 3). Los factores de corrección de contrapresión especificados en la Figura 30 y la Figura 31 son aplicables a las PRV con resorte equilibrado con contrapresiones de hasta el 50% de la presión de ajuste.



**NOTA LA CURVA ANTERIOR REPRESENTA LOS VALORES RECOMENDADOS POR VARIOS FABRICANTES. ESTA CURVA SE PUEDE UTILIZAR CUANDO SE DESCONOCE EL FABRICANTE. DE LO CONTRARIO, SE DEBE CONSULTAR AL FABRICANTE PARA CONOCER EL FACTOR DE CORRECCIÓN APLICABLE.**

**FIGURA 31 — FACTOR DE CORRECCIÓN DE CAPACIDAD, KW, DEBIDO A LA CONTRAPRESIÓN EN PRV BALANCEADAS CON RESORTE EN SERVICIO LÍQUIDO**

Cuando las contrapresiones en aplicaciones de fluidos compresibles (no incluye aplicaciones multifásicas) exceden aproximadamente el 50% de la presión establecida, el flujo es subcrítico. No obstante, se deben utilizar las fórmulas de flujo crítico que se encuentran en 5.6.3. Se debe consultar al fabricante de la PRV cuando las contrapresiones excedan aproximadamente el 50% de la presión establecida para obtener factores de corrección de contrapresión o cualquier limitación especial en la operación de la válvula.

### **2.8.5 —PRV OPERADAS POR PILOTO**

Para las PRV operadas por piloto, la elevación de la válvula no se ve afectada por la contrapresión. Para fluidos compresibles en condiciones de flujo críticas, se debe usar un factor de corrección de contrapresión de 1.0 para PRV operadas por piloto.

### **2.8.6—EFECTOS DE LA CONTRAPRESIÓN, EL DISEÑO DEL CABEZAL EN EL DIMENSIONAMIENTO Y LA SELECCIÓN DE PRV**

Para las PRV convencionales conectadas a un cabezal de antorcha, existen varias consideraciones que afectan el tamaño y la selección de la PRV. La línea de descarga de la PRV y el cabezal de la antorcha deben diseñarse de manera que la contrapresión acumulada no exceda los límites permitidos. Además, el sistema del cabezal de la antorcha debe diseñarse para garantizar que la contrapresión superpuesta, causada por la ventilación o el alivio de otra fuente, no evitará que las PRV se abran a una presión adecuada para proteger el equipo según el Código ASME o el código aplicable. Una vez que se calculan las contrapresiones superpuestas, acumuladas y totales con base en un análisis de caída de presión del sistema de descarga, deben especificarse en la hoja de datos de la PRV en consideración.

La contrapresión total puede afectar la capacidad de la PRV. Dimensionar una PRV balanceada es un proceso de dos pasos. La PRV se dimensiona utilizando un factor de corrección de contrapresión preliminar,  $K_b$ . El factor de corrección puede establecerse inicialmente igual a 1.0 o puede basarse en una contrapresión total supuesta. Una vez que se determina el tamaño y la capacidad preliminares de la válvula, la línea de descarga y el tamaño del cabezal se pueden determinar en función de los cálculos de caída de presión. A continuación, se pueden calcular el tamaño final, la capacidad, la contrapresión y el factor de corrección de la contrapresión,  $K_b$ . La contrapresión debe incluirse en la hoja de datos de la PRV en consideración.

Para una PRV operada por piloto, ni la presión de ajuste ni la capacidad se ven afectadas típicamente por la contrapresión, para fluidos compresibles en condiciones de flujo críticas. El tamaño de la tubería de cola y el cabezal abocinado generalmente se basan en otras consideraciones. El tamaño de la tubería de salida y el tamaño del cabezal abocinado se analizan con más detalle en API 520, Parte II y API 521.

### **2.8.7 —ALIVIAR LA PRESIÓN**

La presión de alivio, es la presión de entrada del dispositivo de alivio de presión en las condiciones de alivio. La presión de alivio es el total de la presión establecida más la sobrepresión.

Los ejemplos citados en esta sección para la determinación de la presión de alivio se refieren a PRV, sin embargo, también son aplicables a los dispositivos de alivio de presión que no se reconectan (consulte la Figura 15 y la Figura 18 para conocer las relaciones de nivel de presión para este tipo de dispositivos).

Los efectos de la caída de presión de entrada en la especificación de la presión de alivio para el dimensionamiento de la PRV pueden ignorarse si la caída de presión de entrada no excede el 3% de la presión de ajuste. La sobrepresión permitida se establece a partir de la acumulación permitida por el código aplicable. La sobrepresión permitida puede variar para diferentes aplicaciones dependiendo de la relación entre la presión de ajuste y la MAWP del recipiente o sistema que está protegido.

La discusión en esta sección generalmente cita el Código ASME como el código aplicable. A menos que se indique lo contrario, las citas se refieren únicamente a la Sección VIII del Código ASME. Se debe estar al tanto de las revisiones del Código ASME. Si se producen las revisiones pertinentes, el diseñador debe ajustar la discusión en esta sección en consecuencia. El diseñador también puede requerir ajustes si se aplican otros códigos (no ASME). En aplicaciones donde estos párrafos no se aplican, a veces se especifican acumulaciones alternas, según lo requieran otros códigos o el fabricante del equipo.

### **2.8.8 —CONTINGENCIAS OPERATIVAS**

#### **2.8.9 —INSTALACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO**

De acuerdo con los requisitos del Código ASME, la presión acumulada se limitará al 110% del MAWP en recipientes que estén protegidos por un solo dispositivo de alivio de presión dimensionado para contingencias operativas (sin fuego).

La presión establecida del dispositivo no debe exceder el MAWP.

**LA TABLA 1 RESUME LA ACUMULACIÓN MÁXIMA Y LA PRESIÓN ESTABLECIDA PARA LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN ESPECIFICADOS DE ACUERDO CON EL CÓDIGO ASME.**

<b>Tabla 1- Establecer límites de presión y acumulación para dispositivos de alivio de presión</b>				
Contingencia	Instalaciones de un solo dispositivo		Instalaciones de varios dispositivos	
	Máximo ajuste de presión%	% De presión máxima acumulada	% De presión de ajuste máxima	% De presión máxima acumulada
Caso sin fuego				
Primer dispositivo de alivio	100	110	100	116
Dispositivo (s) adicional (s)	-----	-----	105	116
Caso de fuego				
Primer dispositivo de alivio	100	121	100	121
Dispositivo (s) adicional (s)	-----	-----	105	121
Dispositivo suplementario	-----	-----	110	121
Nota Todos los valores son porcentajes de la presión de trabajo máxima permitida				

**LA ACUMULACIÓN PERMITIDA ES 3 PSI (21 KPA) CUANDO EL MAWP ESTÁ ENTRE 15 PSIG Y 30 PSIG (103 KPAG Y 207 KPAG) DE ACUERDO CON EL CÓDIGO ASME.**

**LA TABLA 2 MUESTRA UN EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE ALIVIO DE PRESIÓN PARA UN SOLO DISPOSITIVO CUYA PRESIÓN ESTABLECIDA ES MENOR O IGUAL AL MAWP DEL RECIPIENTE**

<b>Tabla 2 Ejemplo de determinación de la presión de alivio para contingencias operativas para la instalación de un solo dispositivo de alivio</b>	
Característica	Valor
Presión de ajuste del dispositivo de alivio igual a MAWP	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	110.0 (758)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	100.0 (689)
Sobrepresión permitida, psig (kPag)	10.0 (69)
Presión barmétrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPag)	124.7 (860)
Presión establecida del dispositivo de alivio menor que MAWP	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	110.0 (758)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	90.0 (621)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	20.0 (138)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	124.7 (86)
Nota Los ejemplos anteriores suponen una presión barométrica de 14,7 psia (101,3 kPa). Se debe utilizar la presión barométrica correspondiente a la elevación del sitio.	

### **2.8.10 —INSTALACIÓN DE VARIOS DISPOSITIVOS**

Una instalación de varios dispositivos requiere la capacidad combinada de dos o más dispositivos de alivio de presión para aliviar una contingencia de sobrepresión determinada. De acuerdo con los requisitos del Código ASME, la presión acumulada se limitará al 116%

del MAWP en recipientes que estén protegidos por múltiples dispositivos de alivio de presión dimensionados para contingencias operativas (sin fuego). La presión establecida del primer dispositivo no debe exceder el MAWP. La presión establecida del dispositivo o dispositivos adicionales no debe exceder el 105% del MAWP. La acumulación permitida es 4 psi (28 kPa) cuando el MAWP está entre 15 psig y 30 psig (103 kPag y 207 kPag).

**LA TABLA 3 MUESTRA UN EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE ALIVIO PARA UNA INSTALACIÓN DE VARIOS DISPOSITIVOS EN LA QUE LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL PRIMER DISPOSITIVO ES IGUAL AL MAWP DEL RECIPIENTE Y LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL DISPOSITIVO ADICIONAL ES EL 105% DEL MAWP DEL RECIPIENTE.**

Tabla 3 Ejemplo de determinación de la presión de alivio para contingencias operativas para una instalación de varios dispositivos de alivio	
Característica	Valor
Primer dispositivo de alivio (ajuste de presión igual a MAWP)	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	116.0 (800)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	100.0 (689)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	16.0 (110)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	130.7 (901)
Dispositivo de alivio adicional (presión de ajuste igual al 105% de MAWP)	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	116.0 (800)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	105.0 (724)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	11.0 (76)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	130.7 (901)
Nota Los ejemplos anteriores suponen una presión barométrica de 14,7 psia (101,3). Se debe utilizar la presión barométrica correspondiente a la elevación lateral.	

### 2.8.11 —CONTINGENCIAS DE INCENDIO

De acuerdo con los requisitos del Código ASME, la presión acumulada se limitará al 121% del MAWP en recipientes que estén protegidos por dispositivos de alivio de presión dimensionados para contingencias de incendios.

Esto se aplica a instalaciones de dispositivos individuales, múltiples y suplementarios.

También se pueden utilizar dispositivos individuales o múltiples dimensionados para incendios para aliviar los requisitos atribuidos a contingencias operativas (no relacionadas con incendios), siempre que se observe la restricción del 110% y el 116% (del MAWP) de presión acumulada para las contingencias distintas de los incendios.

### 2.8.12 —INSTALACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO

Cuando un recipiente está protegido por un solo dispositivo dimensionado para incendios, la presión establecida no debe exceder el MAWP.

La Tabla 4 muestra un ejemplo de determinación de alivio de presión para un solo dispositivo cuya presión establecida es menor o igual al MAWP del recipiente.

**TABLA 4 — EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE ALIVIO PARA CONTINGENCIAS DE INCENDIO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO DE ALIVIO**

Tabla 4 Ejemplo de determinación de la presión de alivio para contingencias de incendio para la instalación de un solo dispositivo de alivio	
Característica	Valor
Presión de ajuste del dispositivo de alivio igual a MAWP	
Depósito protegido MAWP, psig (kPa)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPa)	121.0 (834)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPa)	100.0 (689)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	21.0 (145)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	135.7 (936)
Presión establecida del dispositivo de alivio menor que MAWP	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	121.0 (834)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	90.0 (621)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	31.0 (214)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	135.7 (936)
Nota Los ejemplos anteriores suponen una presión barométrica de 14,7 psia (101,3 kPa). Se debe utilizar la presión barométrica correspondiente a la elevación del sitio.	

### 2.8.13 —INSTALACIÓN DE VARIOS DISPOSITIVOS

Una instalación de varios dispositivos requiere la capacidad combinada de dos o más dispositivos para aliviar la sobrepresión. La presión establecida del primer dispositivo para abrir no debe exceder el MAWP. La presión establecida del último dispositivo en abrirse no debe exceder el 105% del MAWP.

### 2.8.14 —INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS SUPLEMENTARIOS

La instalación de un dispositivo suplementario proporciona capacidad de alivio para un peligro adicional creado por la exposición al fuego u otras fuentes inesperadas de calor externo. La presión establecida de un dispositivo suplementario para incendios no debe exceder el 110% del MAWP.

**LA TABLA 5 MUESTRA UN EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE ALIVIO DE PRESIÓN PARA UNA INSTALACIÓN DE MÚLTIPLES DISPOSITIVOS EN LA QUE LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL PRIMER DISPOSITIVO ES IGUAL AL MAWP DEL RECIPIENTE, Y LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL DISPOSITIVO ADICIONAL ES EL 105% DEL MAWP DEL RECIPIENTE.**

Tabla 5 Ejemplo de determinación de la presión de alivio para contingencias de incendio para una instalación de varios dispositivos de alivio	
Característica	Valor
Primer dispositivo de alivio (ajuste de presión igual a MAWP)	
Depósito protegido MAWP, psig (kPa)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPa)	121.0 (834)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPa)	100.0 (689)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	21.0 (145)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	135.7 (936)
Dispositivo de alivio adicional (presión de ajuste igual al 105% de MAWP)	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	121.0 (834)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	105.0 (724)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	16.0 (110)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	135.7 (936)
Nota Los ejemplos anteriores suponen una presión barométrica de 14,7 psia (101,3 kPa). Se debe utilizar la presión barométrica correspondiente a la elevación del sitio.	

Los dispositivos suplementarios se utilizan únicamente además de los dispositivos dimensionados para contingencias operativas (sin fuego).

### 2.8.15 —DESARROLLO DE ECUACIONES DE DIMENSIONAMIENTO

La suposición de un flujo de boquilla isentrópico para un fluido homogéneo proporciona un marco teórico estándar para las ecuaciones de dimensionamiento de PRV.

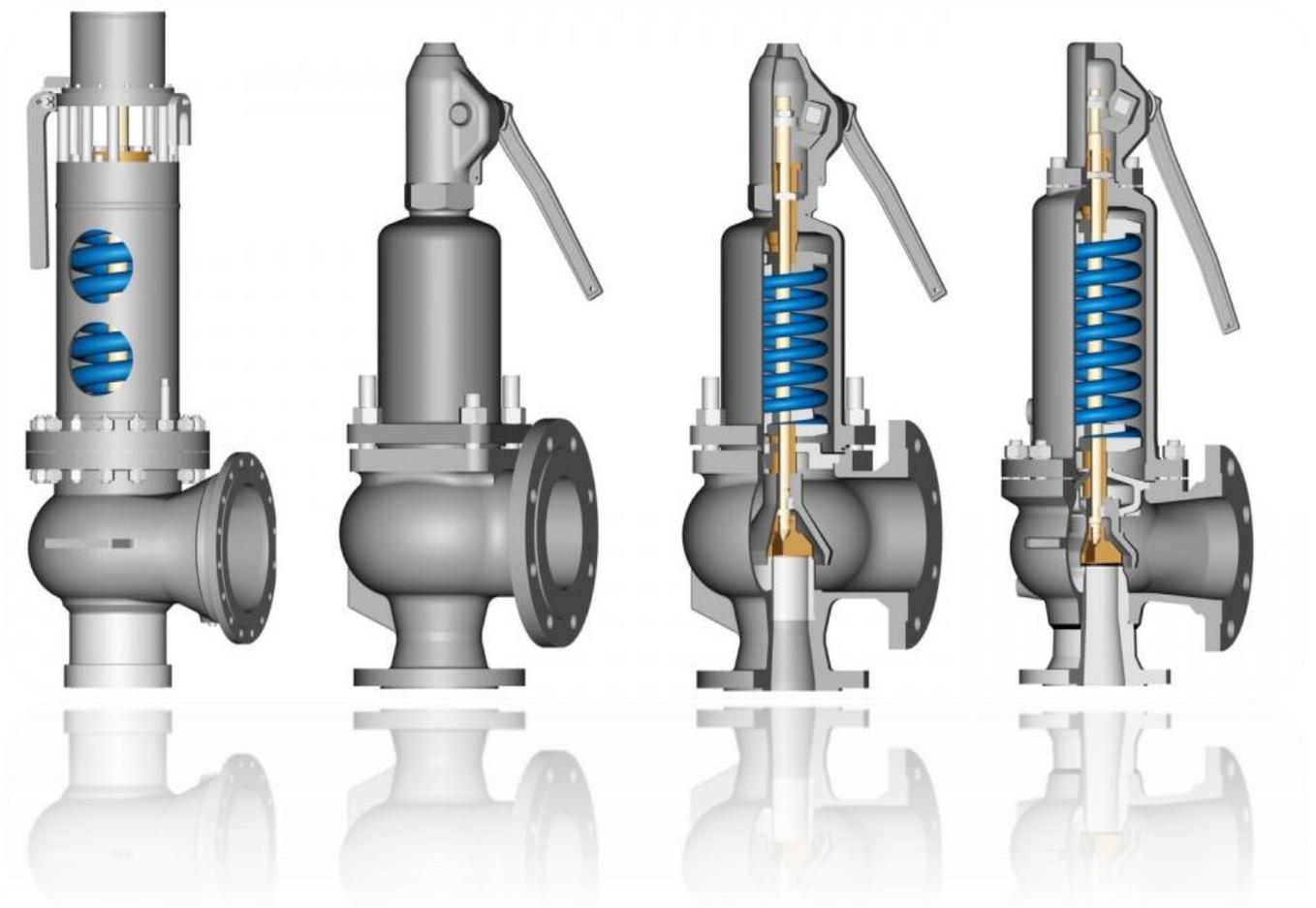
**LA TABLA 6 MUESTRA DE EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE ALIVIO PARA UNA INSTALACIÓN DE DISPOSITIVO SUPLEMENTARIO EN LA QUE LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL PRIMER DISPOSITIVO (SIN FUEGO) NO EXCEDE EL MAWP DEL RECIPIENTE Y LA PRESIÓN ESTABLECIDA DEL DISPOSITIVO SUPLEMENTARIO ES DEL 110% DEL MAWP DE LA EMBARCACIÓN.**

Tabla 6 — Ejemplo de determinación de la presión de alivio para contingencias de incendio para una instalación de válvula suplementaria	
Característica	Valor
Primer dispositivo de alivio (ajuste de presión igual a MAWP)	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	121.0 (834)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	100.0 (689)
Sobrepresión permitida, psi (kPa)	21.0 (145)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Alivio de presión, P1, psia (kPa)	135.7 (936)
Dispositivo de alivio suplementario (ajuste de presión igual al 110% MAWP)	
Depósito protegido MAWP, psig (kPag)	100.0 (689)
Presión máxima acumulada, psig (kPag)	121.0 (834)
Presión establecida del dispositivo de alivio, psig (kPag)	110.0 (758)
Sobrepresión admisible, psi (kPa)	11.0 (76)
Presión barométrica, psia (kPa)	14.7 (101)
Presión de alivio, P1, psia (kPa)	135.7 (936)
NOTA Los ejemplos anteriores suponen una presión barométrica de 14,7 psia (101,3 kPa). Se debe utilizar la presión barométrica correspondiente a la elevación del sitio.	



## CAPÍTULO 3

### PROCEDIMIENTO ENFOCADO A DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD-ALIVIO (DOS FASES)



# ALIVIO DE DOS FASES

## LÍQUIDO / VAPOR

### 3.1—DIMENSIONAMIENTO DESDE UN PUNTO DE VISTA GENERAL

Los métodos para el dimensionamiento de una PRV a dos fases, se encuentran entre las técnicas que actualmente están en uso y por consecuencia esos métodos de dimensionamiento continúan evolucionando a medida que pasa el tiempo. Se recomienda que se comprenda completamente el método que se utilizará para la aplicación de dos fases. Cabe señalar que los métodos presentados en esta parte de la tesis no han sido validados por prueba, ni existe ningún procedimiento reconocido para certificar la capacidad de las PRV en servicio de flujo de dos fases.

#### 3.1.1 —LA APLICACIÓN DE ECUACIONES

Son posibles diferentes escenarios, bajo la categoría general de alivio de dos fases (líquido / vapor).

En todos los escenarios, se produce una mezcla de dos fases al ingresa a la PRV, se produce esa dicha mezcla de dos fases (líquido/vapor), a medida que el fluido se mueve a través de la válvula (PRV). Se debe tener en cuenta la generación de vapor como resultado del flasheo, ya que puede reducir la capacidad de flujo másico efectivo de la válvula.

Se basa en el Método de Equilibrio Homogéneo, que asume que la mezcla de fluidos se comporta como un “fluido pseudo monofásico”, con una densidad determinada como una densidad promedio de las dos fases. Este método se basa en el supuesto de que existe equilibrio térmico y mecánico cuando el fluido de dos fases pasa a través de la PRV.

Para descargas de alto momento de los sistemas de dos fases en boquillas de más de 4 pulgadas (10 cm), se puede suponer tanto el equilibrio térmico como el mecánico. Estos supuestos corresponden al modelo de flujo de equilibrio homogéneo (HEM).

De acuerdo a la siguiente Tabla C.1 se describen los escenarios y los ejemplos en que consiste cada uno de ellos. Al igual menciona en que sección de esta tesis puede encontrar el escenario que considere apropiado.

**TABLA C.1**

**ESCENARIOS DE ALIVIO DE DOS FASES (LÍQUIDO / VAPOR)  
PARA UNA VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN (PRV)**

**VISTO DE UN PUNTO DE VISTA GENERAL**

Tabla C.1 Escenarios de alivio de líquido / vapor de dos fases para PRV		
Escenario de alivio de líquido / vapor de dos fases	Ejemplo	Sección
El sistema de dos fases (mezclas de vapor líquido, incluido el líquido saturado) entra en PRV y parpadea. No hay gas no condensable presente. También incluye fluidos tanto por encima como por debajo del punto crítico termodinámico en el flujo de condensación de dos fases.	El sistema de propano líquido / vapor saturado ingresa a la PRV y el propano líquido parpadea.	C.2.1 o C.2.2
El sistema de dos fases (líquido altamente subenfriado y gas no condensable vapor condensable o ambos) ingresa al PRV y no se enciende.	El propano y el nitrógeno altamente subenfriados ingresan a la PRV y el propano no se enciende.	C.2.1 o C.2.2
El sistema de dos fases (el vapor en la entrada contiene algo de gas no condensable y el líquido está saturado o subenfriado) ingresa a PRV y parpadea. El gas no condensable entra en PRV.	El sistema de propano líquido / vapor saturado y el nitrógeno ingresan al PRV y el propano líquido parpadea.	C.2.1 o C.2.2
a Un gas no condensable es un gas que no se condensa fácilmente en condiciones normales de proceso.		
Los gases no condensables comunes incluyen aire, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.		
b El término altamente subenfriado se usa para reforzar que el líquido no se evapora al pasar por la PRV.		

Las ecuaciones presentadas en la secciones “C.2.2”, se basan en el Método Leung Omega que es una versión del Método de Equilibrio Homogéneo, anteriormente mencionado. El procedimiento presentado en la sección “C.2.2”, el parámetro omega se calcula basándose en datos de volumen específicos obtenidos de un cálculo flash. Esto a menudo se denomina método de dos puntos, ya que las propiedades del fluido se determinan en las condiciones de alivio de la entrada y en condiciones de flash a una presión más baja.

El parámetro omega en sí mismo es una correlación entre la densidad del fluido de dos fases y la presión, utilizando la siguiente relación:

$$\omega = \frac{\frac{\rho_o - 1}{P_o - 1} \frac{v_x - 1}{P_x - 1}}{\frac{\rho_x}{P_x}} = \frac{v_o}{\frac{P_o - 1}{P_x - 1}} \dots\dots\dots(C.1)$$

Dónde:

- P= ES LA PRESIÓN DEL CÁLCULO DE FLASH (ABSOLUTA)
- ρ= ES LA DENSIDAD TOTAL DE DOS FASES DEL CÁLCULO DE FLASH;
- v= ES EL VOLUMEN ESPECÍFICO TOTAL DE DOS FASES DEL CÁLCULO DE FLASH;
- o= ES LA CONDICIÓN INICIAL (POR EJEMPLO, CONDICIÓN DE ENTRADA DE PRV) PARA EL FLASH;
- x= ES EL RESULTADO DEL FLASH A UNA PRESIÓN MÁS BAJA.

En la mayoría de los casos, una presión de flash al 90% de la presión inicial proporciona un parámetro de correlación razonable; sin embargo, las presiones de flash más bajas pueden ser más apropiadas en algunas condiciones (por ejemplo, cerca del punto crítico termodinámico). En algunos casos, es posible estimar el parámetro omega utilizando solo las propiedades del fluido en las condiciones de alivio (método de un punto).

Con base en los supuestos utilizados para desarrollar la técnica de estimación de parámetros omega de un punto, el uso de esta técnica generalmente no es válido para ninguna de las siguientes situaciones:

- 1.- EL RANGO DE EBULLICIÓN NOMINAL PARA UN SISTEMA MULTICOMPONENTE ES SUPERIOR A 150 °F (EL RANGO DE EBULLICIÓN NOMINAL ES LA DIFERENCIA EN LOS PUNTOS DE EBULLICIÓN ATMOSFÉRICOS DE LOS COMPONENTES MÁS LIGEROS Y MÁS PESADOS DEL SISTEMA)
- 2.- EL FLUIDO ESTÁ CERCA DE SU PUNTO CRÍTICO TERMODINÁMICO ( $T_r \geq 0.9$  O  $P_r \geq 0.5$ )
- 3.- LA SOLUBILIDAD DE UN GAS NO CONDENSABLE, SI ESTÁ PRESENTE, EN EL LÍQUIDO ES APRECIABLE
- 4.- LA COMPOSICIÓN DE UN SISTEMA MULTICOMPONENTE CONTIENE MÁS DEL 0.1 POR CIENTO (%) EN PESO DE HIDRÓGENO
- 5.- LA FRACCIÓN DE GAS DE UN SISTEMA MULTICOMPONENTE CON GAS NO CONDENSABLE ES BAJA;

$$\left( \frac{P_{vo}}{P_o} \geq 0.9 \text{ or } \frac{P_{go}}{P_o} \leq 0.1 \right) \dots\dots\dots(C.1.1)$$

Dónde:

- Tr= ES LA TEMPERATURA REDUCIDA EN LA ENTRADA DE PRV
- Pr= ES LA PRESIÓN REDUCIDA EN LA ENTRADA DE PRV
- To= ES LA TEMPERATURA EN LA ENTRADA DE PRV (°R)
- Po= ES LA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE PRV (PSIA); ESTA ES LA PRESIÓN DE AJUSTE PRV (PSIG) MÁS LA SOBREPRESIÓN PERMITIDA (PSI) MÁS LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA
- Pvo= ES LA PRESIÓN DE SATURACIÓN (VAPOR) CORRESPONDIENTE A LA TEMPERATURA DE ALIVIO DE ENTRADA To (PSIA). PARA UN SISTEMA MULTICOMPONENTE, USE LA PRESIÓN DEL PUNTO DE BURBUJA CORRESPONDIENTE A To
- Pgo= ES LA PRESIÓN PARCIAL DEL GAS NO CONDENSABLE EN LA ENTRADA DE LA PRV (PSIA)

De acuerdo a su Análisis podrá elegir una situación similar a las presentadas y por lo tanto podrá utilizar los métodos presentados en las secciones C.2.1 a C.2.2.

Se puede considerar un enfoque más riguroso que utilice una base de datos de propiedades de fluidos o modelos termodinámicos de equilibrio de vapor / líquido incorporados en métodos analíticos o numéricos basados en HEM.

### **3.1.2 —COEFICIENTE DE DESCARGA**

El valor del coeficiente de descarga efectivo para el flujo de dos fases es un tema de debate actual, y no es probable que se resuelva sin una prueba real del comportamiento de la PRV con fluidos de dos fases. Como resultado, se ha proporcionado una recomendación conservadora con respecto a una estimación del coeficiente de descarga efectivo dentro de la guía sobre métodos de dimensionamiento que se detallan en las secciones C.2.1 y C.2.2.

### 3.2— SECCIÓN “C.2.1”

#### 3.2.1—DIMENSIONAMIENTO POR INTEGRACIÓN DIRECTA DEL FLUJO DE BOQUILLA ISENTRÓPICA

Comúnmente la boquilla de entrada de un dispositivo de alivio, es el elemento limitador de flujo de un dispositivo de alivio completamente abierto y, por lo tanto, proporciona el modelo sobre el cual determinar la capacidad de flujo de ese dispositivo de alivio.

Para determinar el flujo de masa máximo a través de una boquilla convergente, se asume que la boquilla es adiabática y reversible (ambas restricciones son necesarias para la suposición isentrópica), una suposición común que se ha apoyado a través de varias pruebas experimentales de boquillas bien formadas. El balance de energía general para el flujo de tobera isentrópica forma la base para el cálculo del flujo de masa, como se muestra en la Ecuación (C.2) y la Ecuación (C.3).

En unidades USC:

$$G^2 = \left[ \frac{-2 \times \int_{P_o}^P 4633 \times v \times dP}{v_t^2} \right]_{\max} = \left[ (\rho_t^2) \times \left( -2 \times \int_{P_o}^P \frac{4633 \times dP}{\rho} \right) \right]_{\max} \dots\dots\dots (C.2)$$

En unidades SI:

$$G^2 = \left[ \frac{-2 \times \int_{P_o}^P v \times dP}{v_t^2} \right]_{\max} = \left[ (\rho_t^2) \times \left( -2 \times \int_{P_o}^P \frac{dP}{\rho} \right) \right]_{\max} \dots\dots\dots (C.3)$$

Dónde:

- max= ES LA MAXIMIZACIÓN DE ESTE CÁLCULO, QUE TIENE EN CUENTA LA POSIBLE OBSTRUCCIÓN DEL FLUIDO
- G= ES EL FLUX DE MASA, lb/s·ft2, o (kg/s·m2)
- v= ES EL VOLUMEN ESPECÍFICO DEL FLUIDO, ft3/lb o (m3/kg)
- ρ= ES LA DENSIDAD DE MASA DEL FLUIDO, lb/ft3, o (kg / m3)
- P= ES LA PRESIÓN DE ESTANCAMIENTO DEL FLUIDO, psia (Pa)
- o= ES EL ESTADO DEL FLUIDO EN LA ENTRADA DE LA BOQUILLA
- t= ES LA CONDICIÓN DEL FLUIDO EN LA GARGANTA DE LA BOQUILLA DONDE SE MINIMIZA EL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Es importante señalar que este balance de energía es independiente de la no idealidad o compresibilidad del fluido. Como resultado, esta ecuación forma la base para los cálculos de flujo de dos fases en el modelo de equilibrio homogéneo empleado en los cálculos de PRV.

Con la ecuación de flujo de la boquilla genérica, se necesita la densidad del fluido a varias presiones de estancamiento desde la entrada de la boquilla hasta el cuello de la boquilla.

Dados estos valores, se puede realizar el cálculo de integración numérica para determinar el flux de masa máximo a través de la boquilla. Utilizando una base de datos de propiedades físicas adecuada o un modelo termodinámico apropiado, se pueden generar los valores para la densidad a varias presiones comenzando con el fluido en las condiciones de estancamiento de entrada para determinar la entropía de estancamiento de entrada, “So”, y luego realizando sucesivos destellos isentrópicos en niveles más bajas presiones (P, So).

Normalmente se supone que la ruta seguida por el fluido en este rango es isoentrópica; sin embargo, una ruta isoentálpica puede ser aceptable para muchas condiciones (específicamente, para mezclas de baja calidad que están lejos del punto crítico termodinámico). Los puntos de datos de presión y densidad se generan para presiones sucesivamente más bajas hasta que la correlación de flujo de masa alcanza un máximo (que representa condiciones de estrangulamiento) o se alcanza la contrapresión real en la boquilla, lo que ocurra primero.

Es en este punto que se toma la presión en el área mínima de la sección transversal en la boquilla (la presión de la garganta). Para una presión de garganta conocida, Pt, el balance de energía se puede escribir como se muestra en la Ecuación (C.4) y la Ecuación (C.5).

En unidades USC:

$$G^2 = (\rho_t^2) \times \left( -9266.1 \times \int_{P_o}^{P_t} \frac{dP}{\rho} \right) \dots\dots\dots (C.4)$$

En unidades SI:

$$G^2 = (\rho_t^2) \times \left( -2 \times \int_{P_o}^{P_t} \frac{dP}{\rho} \right) \dots\dots\dots (C.5)$$

La integral se puede evaluar fácilmente numéricamente para cualquier fluido mediante la suma directa en pequeños intervalos de presión:

$$\int_{P_o}^{P_t} \frac{dP}{\rho} \approx \sum_{i=0}^t 2 \times \left( \frac{P_{i+1} - P_i}{\rho_{i+1} + \rho_i} \right) \dots\dots\dots (C.6)$$

Dónde:

$\rho_i$  = es la densidad de masa total del fluido a la presión de estancamiento,  $P_i$ .

La densidad de masa total para una mezcla en equilibrio térmico y mecánico se puede calcular basándose en la densidad de cada fase y la fracción de volumen de la fase de vapor en la mezcla:

$$\rho = (\alpha \times \rho_v) + (1 - \alpha) \rho_l \dots\dots\dots(C.7)$$

Dónde:

- $\rho$ = ES LA DENSIDAD DE LA MEZCLA DE DOS FASES
- $\rho_v$ = ES LA DENSIDAD DEL VAPOR
- $\rho_l$ = ES LA DENSIDAD DEL LÍQUIDO
- $\alpha$ = ES LA FRACCIÓN DE VOLUMEN DE LA FASE DE VAPOR EN LA MEZCLA

La fracción de volumen de la fase de vapor en la mezcla está relacionada con la calidad de masa de la mezcla (fracción de masa de la fase de vapor) de la siguiente manera:

$$\frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{x}{1 - x} \times \frac{\rho_l}{\rho_v} \dots\dots\dots(C.8)$$

Una vez que se ha determinado el valor del flujo másico, el área del orificio requerida se puede calcular usando la Ecuación (C.9) o la Ecuación (C.10).

En unidades USC:

$$A = \frac{0.04W}{K_d K_b K_c K_v G} \dots\dots\dots(C.9)$$

En unidades SI:

$$A = \frac{277.8 \times W}{K_d K_b K_c K_v G} \dots\dots\dots(C.10)$$

Dónde:

A= ES EL ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA, pulg.2 (mm2)

W= ES EL CAUDAL MÁSIKO, lb/h (kg/h)

Kd= ES EL COEFICIENTE DE DESCARGA. PARA UNA ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL TAMAÑO, SE PUEDE USAR UN COEFICIENTE DE DESCARGA DE 0.85 PARA UNA MEZCLA DE DOS FASES O LÍQUIDO SATURADO QUE INGRESA A LA ENTRADA DE LA PRV. PARA EL CASO DE UN LÍQUIDO, AL INGRESAR A LA ENTRADA DE LA PRV, UN COEFICIENTE DE DESCARGA IGUAL A 0.65 ES CONSISTENTE CON EL MÉTODO MONOFÁSICO. TENGA EN CUENTA QUE UN VALOR DE 0.65 PUEDE RESULTAR EN UN TAMAÑO DE VÁLVULA CONSERVADOR PARA LÍQUIDOS QUE ESTÁN SOLO LIGERAMENTE SUBENFRIADOS. EL USUARIO PUEDE SELECCIONAR OTROS MÉTODOS PARA DETERMINAR UN COEFICIENTE DE DESCARGA

Kb= ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE CONTRAPRESIÓN PARA VAPOR QUE DEBE OBTENERSE DEL FABRICANTE DE LA VÁLVULA. EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE CONTRAPRESIÓN SE APLICA ÚNICAMENTE A LAS VÁLVULAS DE FUELLE EQUILIBRADO

Kc= ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE COMBINACIÓN PARA INSTALACIONES CON UN DISCO DE RUPTURA AGUAS ARRIBA DE LA PRV;  
1) EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE COMBINACIÓN ES 1.0, CUANDO NO SE INSTALA UN DISCO DE RUPTURA  
2) EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA COMBINACIÓN ES 0,9, CUANDO SE INSTALA UN DISCO DE RUPTURA EN COMBINACIÓN CON UNA PRV Y LA COMBINACIÓN NO TIENE UN VALOR CERTIFICADO

Kv= ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA VISCOSIDAD

### 3.3 —SECCIÓN “C.2.2”

#### 3.3.1— DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV UTILIZANDO EL MÉTODO OMEGA ( $\omega$ )

El método presentado en esta sección se puede utilizar para dimensionar PRV que manejan flujo con o sin tapajuntas.

Estos métodos también son apropiados para fluidos tanto por encima como por debajo del punto crítico termodinámico, en el flujo de condensación de dos fases. Finalmente, los métodos presentados sección (C.2.1 y C.2.2), pueden usarse para líquidos que están saturados cuando ingresan al dispositivo de alivio.

En todos los casos, el parámetro omega se determina utilizando los datos de volumen específicos obtenidos utilizando datos de propiedades del fluido o cálculos rápidos para una mezcla en las condiciones de estancamiento y una presión adicional (método de dos puntos).

#### SE PUEDE UTILIZAR EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO:

**A) PASO 1:** Calcular el parámetro omega, ( $\omega$ ). Para calcular el parámetro omega usando dos puntos de datos de volumen específicos de presión, use la Ecuación (C.12).

$$\omega = 9 \left( \frac{v_g}{v_o} - 1 \right) \dots\dots\dots (C.12)$$

Dónde

$v_g$ = ES EL VOLUMEN ESPECÍFICO EVALUADO AL 90% DE LA PRESIÓN DE ENTRADA DE LA PRV,  $P_o$  en ft<sup>3</sup>/lb; AL DETERMINAR  $v_g$ , EL CÁLCULO DEL FLASH DEBE REALIZARSE DE FORMA ISENTRÓPICA, PERO UN FLASH ISOENTÁLPICO (ADIABÁTICO) ES SUFICIENTE PARA MEZCLAS DE BAJA CALIDAD ALEJADAS DEL PUNTO CRÍTICO TERMODINÁMICO

$v_o$ = ES EL VOLUMEN ESPECÍFICO DEL SISTEMA DE DOS FASES EN LA ENTRADA DE LA PRV, ft<sup>3</sup>/lb

**B) PASO 2:** Determine si el flujo es crítico o subcrítico:

$P_c \geq P_a$  = FLUJO CRÍTICO  
 $P_c < P_a$  = FLUJO SUBCRÍTICO

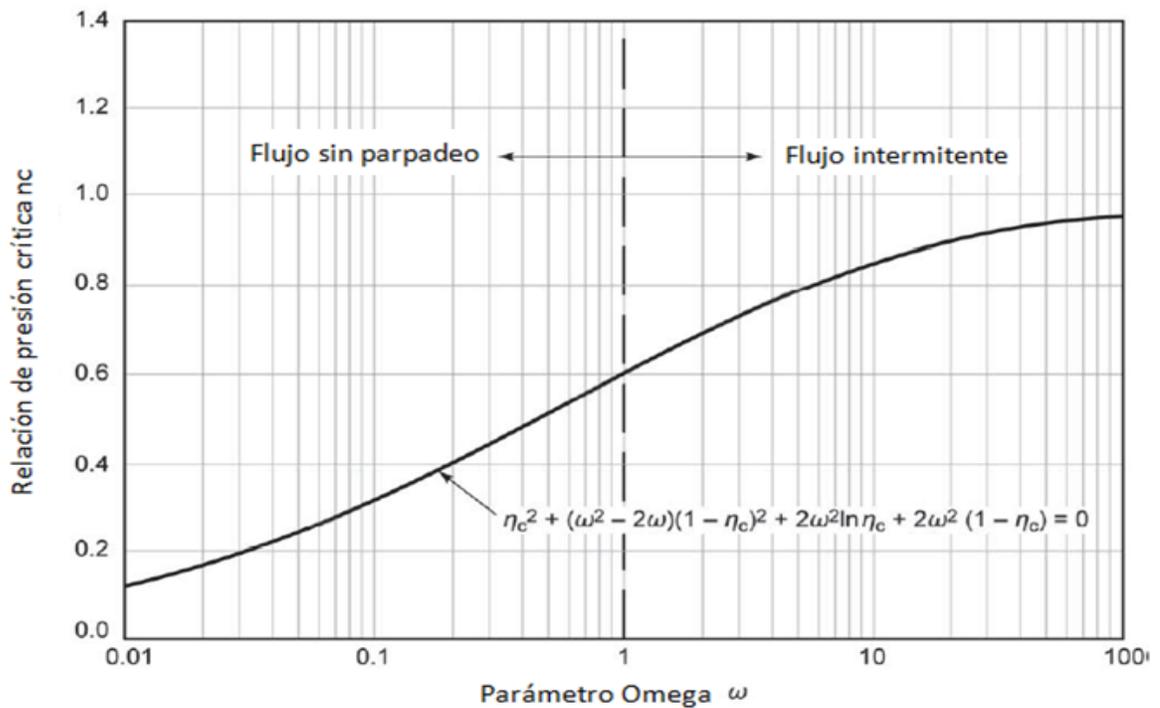
Dónde:

$P_c$  = ES LA PRESIÓN CRÍTICA, psia (Pa)

$P_c = (\eta_c) (P_o)$

Dónde:

$\eta_c$  = ES LA RELACIÓN DE PRESIÓN CRÍTICA DE LA FIGURA C.1



**FIGURA C.1 — CORRELACIÓN PARA EL FLUJO CRÍTICO DE LA BOQUILLA DE LOS SISTEMAS DE TAPAJUNTAS Y SIN TAPA**

**NOTA: ESTA RELACIÓN TAMBIÉN SE PUEDE OBTENER DE LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:**

$$\eta_c^2 + (\omega^2 - 2\omega)(1 - \eta_c)^2 + 2\omega^2 \ln \eta_c + 2\omega^2 (1 - \eta_c) = 0 \quad \dots\dots\dots (C.14)$$

**O DE LA SIGUIENTE APROXIMACIÓN:**

$$\eta_c = \left[ 1 + \left( 1.0446 - 0.0093431 \times \omega^{0.5} \right) \times \omega^{-0.56261} \right]^{(-0.70356 + 0.014685 \times \ln \omega)} \dots\dots\dots (C.15)$$

Dónde:

Po= ES LA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE PRV (psia o Pa); ESTA ES LA PRESIÓN DE AJUSTE PRV (psig o Pag) MÁS LA SOBREPRESIÓN PERMITIDA (psi o Pa) MÁS LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Pa= ES LA CONTRAPRESIÓN AGUAS ABAJO (psia o Pa)

**C) PASO 3:** Calcule el flux de masa. Para flujo crítico, use la Ecuación (C.16) o la Ecuación (C.18). Para flujo subcrítico, use la Ecuación (C.17) o la Ecuación (C.19).

En unidades USC:

$$G = 68.09 \times \eta_c \sqrt{\frac{P_o}{v_o \omega}} \dots\dots\dots (C.16)$$

$$G = \frac{68.09 \times \left\{ -2 \left[ \omega \ln \eta_a + (\omega - 1)(1 - \eta_a) \right] \right\}^{1/2}}{\omega \left( \frac{1}{\eta_a} - 1 \right) + 1} \sqrt{P_o / v_o} \dots\dots\dots (C.17)$$

En unidades SI:

$$G = \eta_c \sqrt{\frac{P_o}{v_o \omega}} \dots\dots\dots (C.18)$$

$$G = \frac{\left\{ -2 \times \left[ \omega \ln \eta_a + (\omega - 1)(1 - \eta_a) \right] \right\}^{1/2}}{\omega \left( \frac{1}{\eta_a} - 1 \right) + 1} \sqrt{P_o / v_o} \dots\dots\dots (C.19)$$

Dónde:

- G= ES EL FLUX DE MASA, lb/s\*ft2 (kg/s\*m2)
- Po= ES LA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE PRV en psia (Pa)
- vo= ES EL VOLUMEN ESPECÍFICO DEL SISTEMA DE DOS FASES EN LA ENTRADA DE LA PRV EN ft3/lb (m3/kg)
- ηa= ES LA RELACIÓN DE CONTRAPRESIÓN, ηa = Pa/Po

**D) PASO 4:** Calcule el área requerida de la PRV.

En unidades USC:

$$A = \frac{0.04W}{K_d K_b K_c K_v G} \dots\dots\dots (C.20)$$

En unidades SI:

$$A = \frac{277.8W}{K_d K_b K_c K_v G} \dots\dots\dots (C.21)$$

Dónde:

- A= ES EL ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA, pulg.2 (mm2)
- W= ES EL CAUDAL MÁSIICO, lb/h (kg/h)
- Kd= ES EL COEFICIENTE DE DESCARGA. PARA UNA ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL TAMAÑO, SE PUEDE UTILIZAR UN COEFICIENTE DE DESCARGA DE 0.85
- Kb= ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA CONTRAPRESIÓN PARA EL VAPOR QUE DEBE OBTENERSE DEL FABRICANTE DE LA VÁLVULA; PARA UNA ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL TAMAÑO. EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA CONTRAPRESIÓN SE APLICA ÚNICAMENTE A LAS VÁLVULAS DE FUELLE EQUILIBRADO
- Kc= ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE COMBINACIÓN PARA INSTALACIONES CON UN DISCO DE RUPTURA AGUAS ARRIBA DE LA PRV CONSIDERANDO LAS SIGUIENTES OBSERVACIONES
  - 1) EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE COMBINACIÓN ES 1.0, CUANDO NO SE INSTALA UN DISCO DE RUPTURA

2) EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA COMBINACIÓN ES 0.9, CUANDO SE INSTALA UN DISCO DE RUPTURA EN COMBINACIÓN CON UNA PRV Y LA COMBINACIÓN NO TIENE UN VALOR CERTIFICADO

$K_v$ = ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA VISCOSIDAD

**PASO 5)** Último paso 5 es la Selección del Área del Orificio, esta es solo una prueba de orientación para poder hacer una estimación teórica, del mismo modo

Teniendo la determinación del área de descarga efectiva requerida y el flux de masa, se podrá relacionarlo con la siguiente tabla, tomando en cuenta completando el área de descarga efectiva requerida, se puede elegir una o varias designaciones para a completar el cálculo teórico.

**Tabla C.2 --ÁREAS NOMINALES DE ORIFICIOS PARA VÁLVULAS DESIGNADAS POR MEDIO DE LETRAS COMO se indica**

Designación de Orificio	Área Nominal	Designación de Orificio	Área Nominal
	in <sup>2</sup>		in <sup>2</sup>
D	0.1100502	L	2.8535557
E	0.1953004	M	3.6006572
F	0.3069006	N	4.34001
G	0.502201	P	6.3798128
H	0.7843016	Q	11.049972
J	1.2865	R	16.000682
K	1.8383037	T	25.999752



# CAPÍTULO 4

## DESARROLLO DEL SIMULADOR RELIEF



## **4.1—PRESENTACIÓN GENERAL DEL SIMULADOR**

El Ingeniero Químico debe de contar con herramientas que le ayuden en el desarrollo de procesos de índole propia a su trayectoria profesional, lo que le permite el camino con una carga de dificultad menor para llegar a sus objetivo, con referencia a lo ya mencionado, el SIMULADOR RELIEF, permite conducir al Ingeniero Químico al diseño en particular de Válvulas de Alivio de Presión a Flujo de Dos Fases, tomando en cuenta que el programa arroja resultados óptimos al diseño confiable, seguro, operativo y en aplicación en campo.

Se ha pensado como el inicio de una Tecnología de herramienta de uso dinámico para el Ingeniero Químico y su fácil accesibilidad, costo bajo y resultados confiables. La filosofía está basada en dos parámetros fundamentales, cuenta con una gran captura de parámetros para resultados más apropiados y genera una gran orientación hacia el diseño de válvulas de relevo de presión en la vida laboral profesional del Ingeniero Químico.

## **4.2—MÉTODOS Y ECUACIONES IMPLICADAS EN RELIEF**

Esta parte de la descripción del Simulador RELIEF, es muy importante reconocer qué métodos o ecuaciones están en la programación de dicho Simulador, para empezar debemos reconocer que hay una serie de diversos métodos e interpretaciones de ecuaciones para casos específicos. Sin embargo RELIEF, está enfocado principalmente en el Estándar API 520 9ª Edición, Julio 2014; Dimensionamiento, Selección e Instalación de Dispositivos de Alivio de Presión; Parte 1 Dimensionamiento y Selección. Anteriormente se trató el tema de que existen diversos escenarios y bajo la categoría general en todos los procesos de operación de Válvulas Alivio de Presión, es que siempre existe una mezcla en la entrada de la PRV y en el trayecto interno del mismo dispositivo de alivio.

Por lo tanto el MÉTODO DE EQUILIBRIO HOMOGÉNEO, explica que esa mezcla de los fluidos (líquido/vapor), se comportan como un “fluido monofásico” con una densidad promedio de las fases. Al igual se basa en el supuesto Equilibrio Térmico y Mecánico, cuando el hipotético fluido monofásico pasa a través de la PRV. Dicho esto RELIEF se encuentra estructurado por el MÉTODO LEUNG OMEGA, que es una versión derivada del MÉTODO DE EQUILIBRIO HOMOGÉNEO, esta versión maneja el parámetro omega ( $\omega$ ), determinado con los volúmenes específicos de un cálculo flash y que es una versión.

El MÉTODO LEUNG OMEGA que se le conoce también como el MÉTODO DE DOS PUNTOS, ya que las propiedades del fluido se determinan en las condiciones de alivio de la entrada y en condiciones de flash a una presión más baja. Hay casos específicos donde se logra calcular el parámetro omega ( $\omega$ ), utilizando propiedades solo en las condiciones de Alivio y se le conoce como el MÉTODO DE UN PUNTO.

### **4.3—LOS ARCHIVOS**

Hay que tomar en cuenta que el Simulador RELIEF, cuenta con archivos ejecutable en el SOPORTE DE MICROFOSOFT, programado en Base de Datos de Excel Visual Basic. Teniendo así un archivo de Excel personalizado y completamente disponible para guardarlo en su computador o dispositivo electrónico. Por lo tanto debe de permanecer en las consideraciones ya mencionadas para una ejecución certeza.

A medida de que usted vaya caminando en el programa se dará cuenta de su gran facilidad de ejecución y que le dará resultados seguros y confiables.

### **4.4—MÓDULOS**

En el programa de Dimensionamiento de Válvulas de Relevo de Presión a Dos Fases RELIEF, está por módulos ejecutables, donde se cada uno es un paso a seguir para poder determinar el diseño de la PRV.

- 1) Tipo de PRV y Cálculo de la PRV
- 2) Captura de Datos Técnicos del Recipiente y Condiciones de Servicio del Recipiente
- 3) Determinación de Parámetros y Simulación de Diseño de la PRV
- 4) Módulo de Información de Ingeniería de Procesos ( Hoja de Datos de Proceso del Recipiente de Uso, Balance de Masa del Recipiente en uso)

#### **4.4.1— MÓDULO 1.-SELECCIÓN DE TIPO DE PRV**

En este módulo se presenta la selección de tipo de PRV y el apartado para iniciar los cálculos de la Válvula de Relvo de Presión, teniendo anticipación una idea muy general de qué tipo de PRV se utilizara, además hay que tomar en cuenta que el Simulador RELIEF solo es aplicable para el diseño de PRV únicamente de dos fases.

#### **4.4.2— MÓDULO 2.-CAPTURA DE DATOS TÉCNICOS DEL RECIPEINTE Y CONDICIONES DE SERVICIO DEL RECIPIENTE**

Como su nombre lo dice, en este aparatado el Simulador requiere el ingreso de una serie de datos técnicos muy importantes, para generar una visión general del recipiente al que se le quiere dar un previo diseño técnico, seguro y teórico de su Válvula de Relevo de Presión a Flujo a Dos Fases. Las condiciones de servicio del recipiente son una parte fundamental ya que representan la base del dimensionamiento. Dichas Condiciones de Servicio son el Tipo de Flujo, Caudal Másico, Temperatura y Densidades, etc.; Todo un compendio de propiedades físico químicas de los flujos involucrados en el Reciente.

#### **4.4.3— MÓDULO 3.-DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y SIMULACIÓN DE DISEÑO DE LA PRV**

En este apartado se requiere de conocimientos más especializados en el área de diseño, es importante resaltar que algunas de las consideraciones son críticas, son factores claves de corrección decisivos, basado en el Método Omega ( $\omega$ ), para Flujo Intermitente o No Intermitente; que van desde Factores de Viscosidad hasta las densidades a 90% y 100% de la Presión de Diseño o de la Presión de Trabajo Máxima Permitida. Con lo ya mencionado este módulo también es capaz de realizar la Simulación y con ello poder determinar el dimensionamiento de la PRV.

#### **4.4.4— MÓDULO 4.-INFORMACIÓN DE INGENIERÍA DE PROCESOS (HOJA DE DATOS DE PROCESOS DEL RECIPIENTE EN USO, BALANCE DE MASA DEL RECIPIENTE EN USO)**

Modulo donde se encuentra una gran parte de información técnica, de servicio y de condiciones generales del recipiente al que se le quiere dimensionar su PRV. Esta información se agrega de manera rápida por medio del primer apartado en la pantalla de inicio del simulador como 1 Ingeniería de Procesos y 2 Balance de Masa.

## 4.5— CURSO DINÁMICO DEL SIMULADOR RELIEF

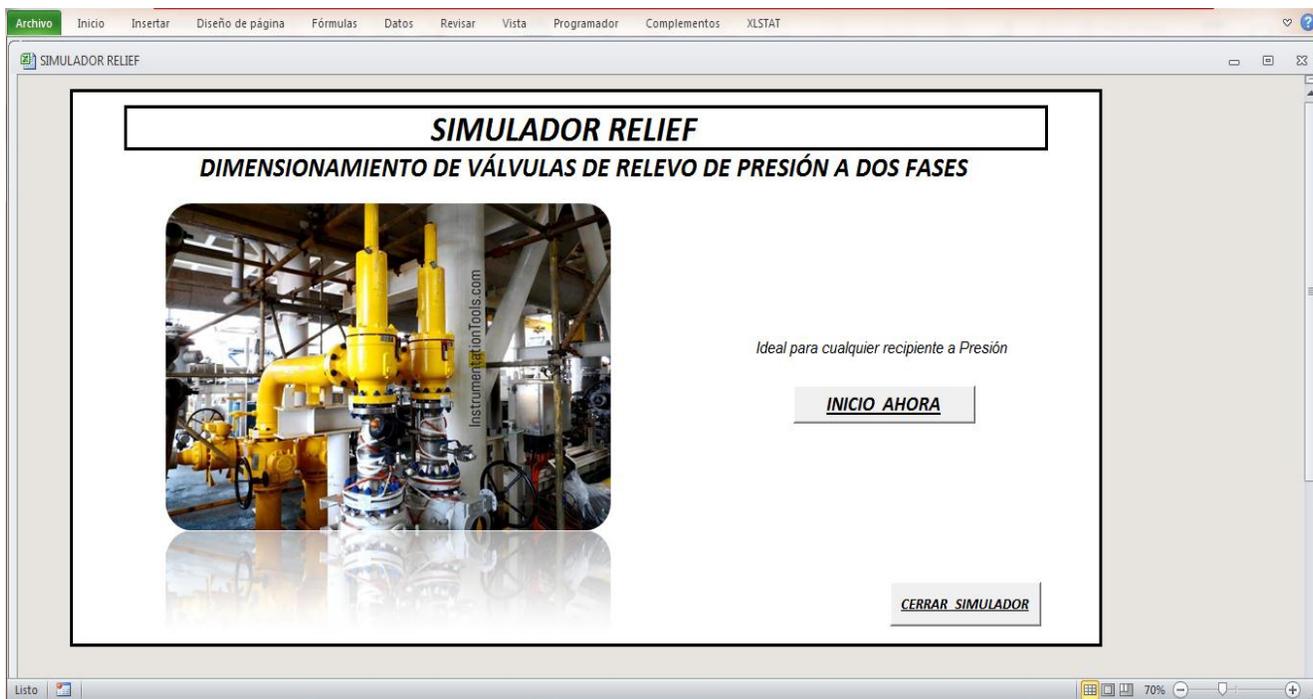


FIGURA 32— CARÁTULA DEL SIMULADOR RELIEF

### 4.5.1—INICIACIÓN DEL SIMULADOR RELIEF

En la Figura 3.1 se muestra gráficamente la caratula del Simulador, en la cual se encuentra las dos opciones principales (INICIO AHORA) y (CERRAR SIMULADOR). Las cuales permiten el acceso al programa o el cierre del mismo, respectivamente.

Tiene una versión muy sencilla y muy didáctica para su fácil comprensión.

### 4.5.2—PANTALLA DE INICIO

Desde la Pantalla de Inicio se controlan las funciones principales del Simulador, generando así una fácil accesibilidad a los cuatro módulos mencionados anteriormente; La opción de (INICIO AHORA) hace la apertura de la Pantalla de Inicio, y la opción de (CERRAR SIMULADOR), simplemente hace hincapié al nombre de la opción.



**FIGURA 33—APERTURA DE LA PANTALLA DE INICIO**

Al dar clic en (INICIO AHORA), generará automáticamente la apertura de la PANTALLA DE INICIO

PANTALLA DE INICIO nos va a permitir el Tipo de PRV que queremos Diseñar; en los puntos 1,2 y 3 nos da el acceso a diferentes secciones del Simulador. El orden creciente numérico en los botones, no va a dirigir los pasos en el cual el Simulador RELIEF debe pasar, para llegar a la simulación.

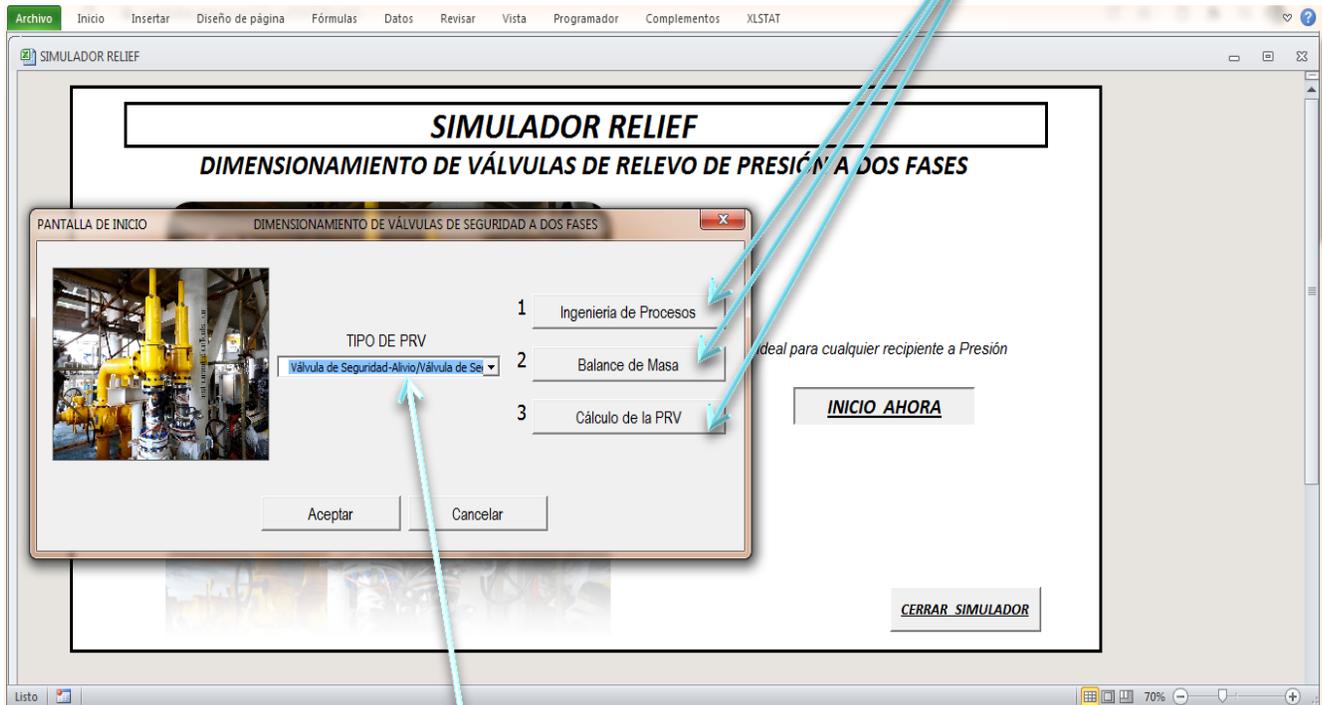
A continuación se darán detalles de cada uno de los botones enumerados y por qué deben seguir ese orden al mismo tiempo de su impotencia.

- 1) Ingeniería de Procesos: al dar clic en este botón, nos lleva a lo que una sección donde encontramos la Información de la Hoja de Datos de Proceso del Recipiente de Uso. También se encuentra una serie de compuestos químicos, con sus propiedades físicas y químicas que nos pueden a completar o encontrar parámetros necesarios que requiere el Simulador RELIEF.
- 2) Balance de Masa: como su nombre lo menciona en este botón, nos dirige a la sección donde se encuentra el Balance de Masa General del Recipiente, dicho balance nos proporciona los flujos másicos, ya que son parámetros importantes que se utilizaran posteriormente.

3) Finalmente el último botón, nos dirige a la sección de (Cálculo de la PRV) que consta de dos partes, la primera parte llamada (SISTEMA DE DISEÑO CAPTURA DE DATOS DEL RECIPIENTE), dicha parte solicita Generalidades del Proyecto/Recipiente y las Condiciones de Servicio del Recipiente.

**FIGURA 34— PANTALLA DE INICIO**

Botones 1, 2 y 3; Ingeniería de Procesos, Balance de Masa y Cálculo de la PRV, respectivamente



Sección de elegir el TIPO DE PRV que se quiere Diseñar

**NOTA IMPORTANTE:** Después de cada elección siempre dar clic en Aceptar

### 4.5.3—INICIO DE LA SIMULACIÓN

En el Simular RELIEF, maneja una estructura con orden de los procesos de diseño, generando así un orden numérico.

En la figura 3.4 y 3.5 podemos observar la sección del botón 1 y 2.

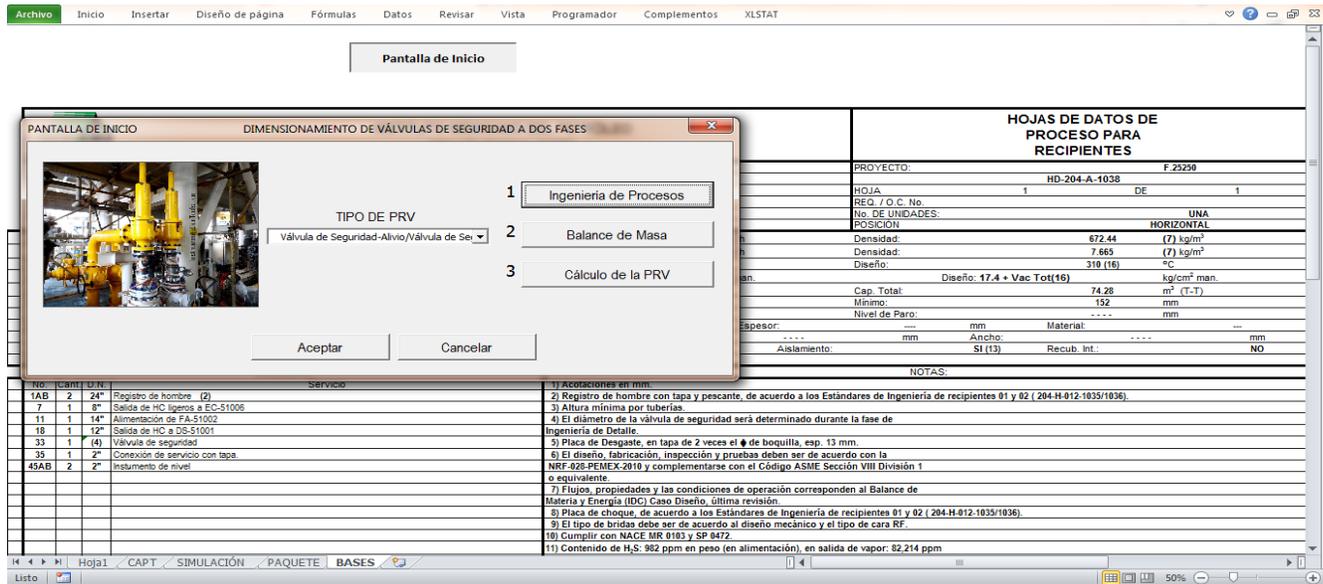


FIGURA 35—SECCIÓN DEL BOTÓN 1 (INGENIERÍA DE PROCESOS)

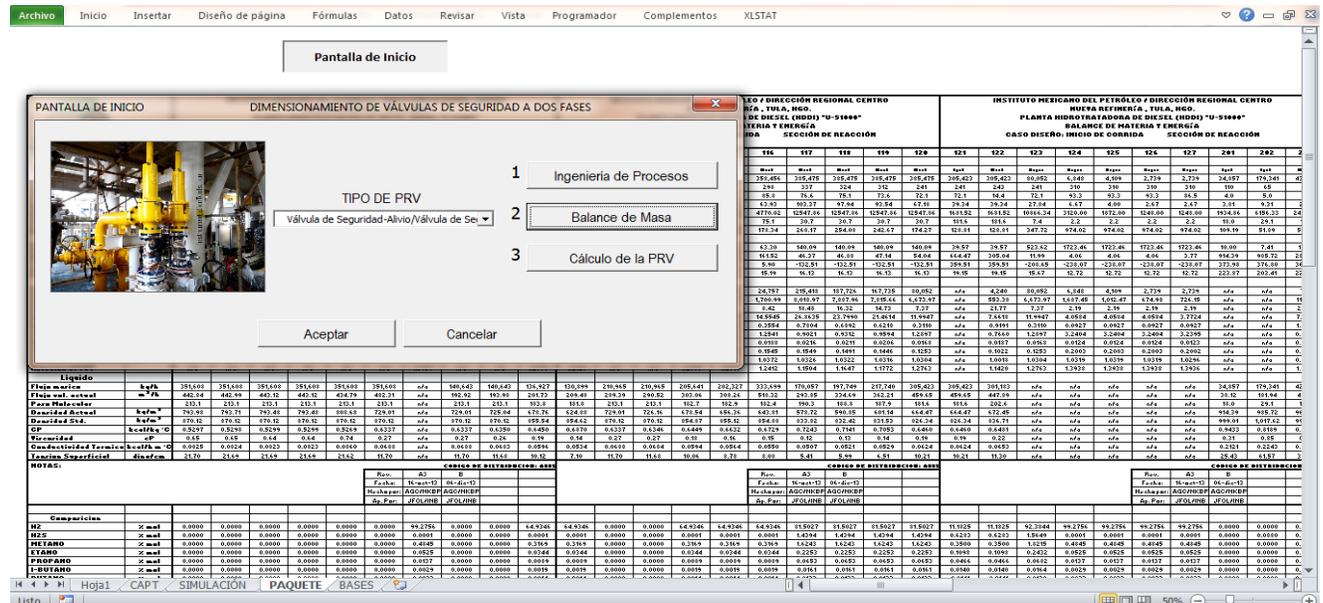
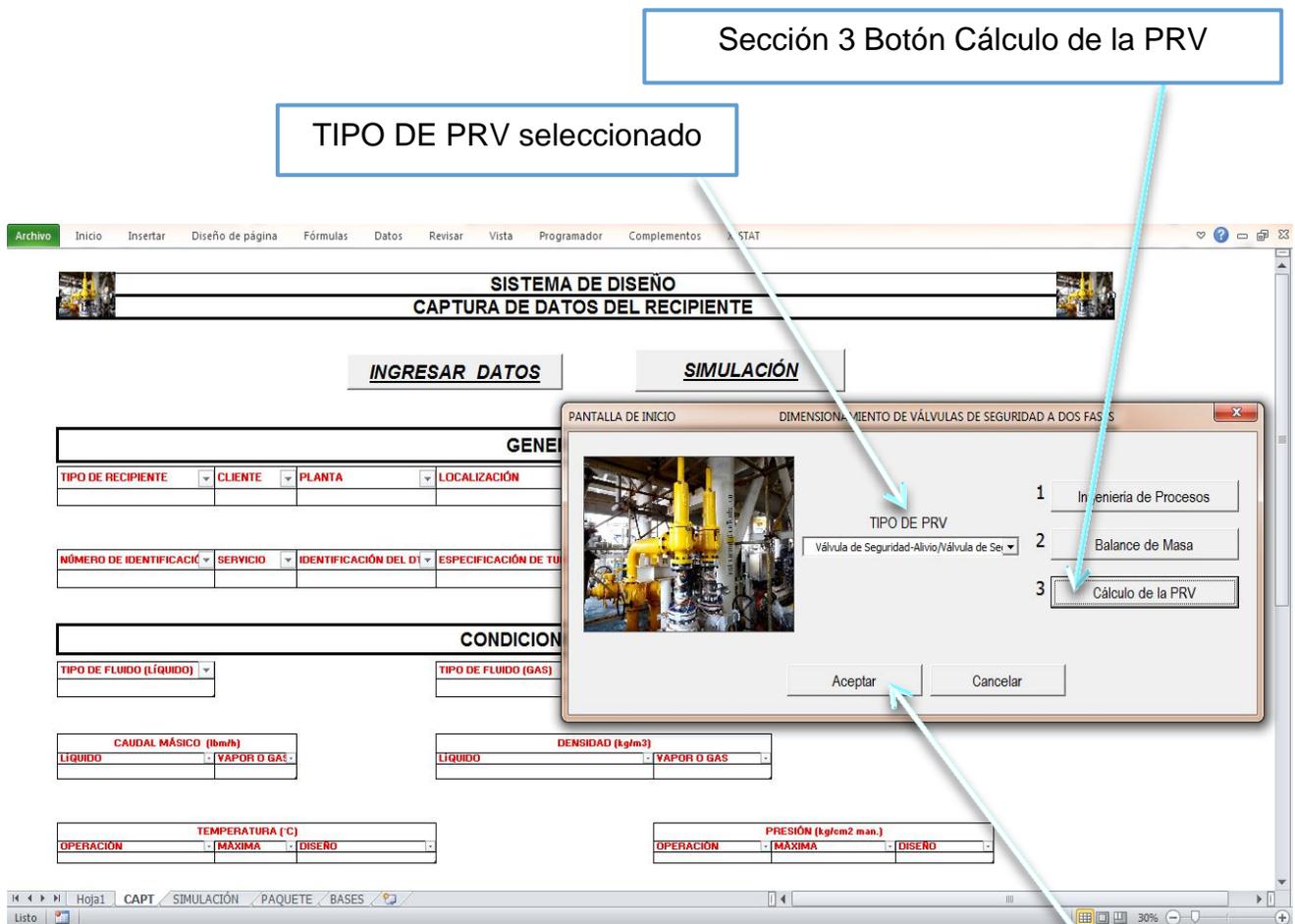


FIGURA 36—SECCIÓN DEL BOTÓN 2 (BALANCE DE MASA)

El propósito de avanzar de manera ordenada por el Simulador RELIEF, es conocer los parámetros necesarios que posteriormente el mismo programa le va a requerir. Para así llegar al último Botón 3 llamado Cálculo de la PRV.

Para el ingreso de la sección del Botón 3 (Cálculo de la PRV), deberá ya colocar el TIPO DE PRV, seleccionar el Botón 3 (Calculo de PRV) y al final dar clic en Aceptar.



**FIGURA 37— SECCIÓN DEL BOTÓN 3 (CÁLCULO DE LA PRV)**

Después de Seleccionar el TIPO DE PRV y Botón 3  
Calculo de la PRV dar clic en Aceptar

Es importante reconocer que todos los pasos ya mencionados son una estructura ordenada para poder realizar un diseño en específico de un Dispositivo de Relvo de Presión, que es una Válvula de Seguridad-Alivio.

Este Tipo de Válvula son para flujo a dos fases Liquido/Vapor.

#### **4.5.4—INGRESO DE DATOS, ESPECIFICACIONES, GENERALIDADES Y CONDICIONES DE SERVICIO**

Después de seguir los pasos anteriores, nos encontramos en la sección del Botón 3 Calculo de la PRV; En seguida aparecerá un fragmento de Excel llamado SISTEMA DE DISEÑO-CAPTURA DE DATOS DE EL RECIPIENTE.

Después seguirá los siguientes pasos:

- 1) Dar clic en el Botón Izquierdo llamado (INGRESAR DATOS)
- 2) Llenar los requisitos de la ventana que saldrá llamada SISTEMA DE DISEÑO-GENERALIDADES Y CONDICIONES DE SERVICIO
- 3) Después dar clic en Guardar e inmediatamente en Aceptar
- 4) Concluido el paso 3, dar clic en el Botón derecho llamado (SIMUALCIÓN)

INGRESAR DATOS: Es una ventana nombrada (SISTEMA DE DISÑO-GENERALIDADES Y CONDICIONES DE SERVICIO), donde requerirá llegar requisitos técnicos del Recipiente al que le diseñara su PRV, Requisitos que formaran una consistencia ordenada de información fundamental para su diseño.

Los requisitos de la ventana llamada SISTEMA DE DISEÑO-GENERALIDADES Y CONDICIONES DE SERVICIO son los siguientes:

##### **GENERALIDADES**

- Tipo de Recipiente
- Cliente
- Planta
- Localización
- Proyecto
- No. de Proyecto
- Número de Identificación
- Servicio
- Identificación del DTI
- Especificaciones de Tubería
- Posición

-No, de unidades

## CONDICIONES DE SERVICIO

- Tipo de Fluido
- Caudal
- Densidad
- Presión
- Temperatura
- Dimensiones
- Nivel
- Materiales
- Corrosión

Paso no. 1

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Complementos XLSTAT

**SISTEMA DE DISEÑO**  
**CAPTURA DE DATOS DEL RECIPIENTE**

**INGRESAR DATOS** **SIMULACIÓN**

**GENERALIDADES**

TIPO DE RECIPIENTE	CLIENTE	PLANTA	LOCALIZACIÓN	PROYECTO	NO. DE PROYECTO
NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	SERVICIO	IDENTIFICACIÓN DEL DISEÑO	ESPECIFICACIÓN DE TUBERÍA ENT. / SA.	POSICIÓN	NO. DE UNIDADES

**CONDICIONES DE SERVICIO**

TIPO DE FLUIDO (LÍQUIDO)	TIPO DE FLUIDO (GAS)
CAUDAL MÁXICO (l/m <sup>2</sup> h)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
LIQUIDO	LIQUIDO
VAPOR O GAS	VAPOR O GAS
TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> man.)
OPERACIÓN	OPERACIÓN
MAXIMA	MAXIMA
DISEÑO	DISEÑO

Hoja1 CAPT / SIMULACIÓN / PAQUETE / BASES

Listo

Paso no. 2

FIGURA 38— SECCIÓN DEL BOTÓN 3 CÁLCULO DE LA PRV

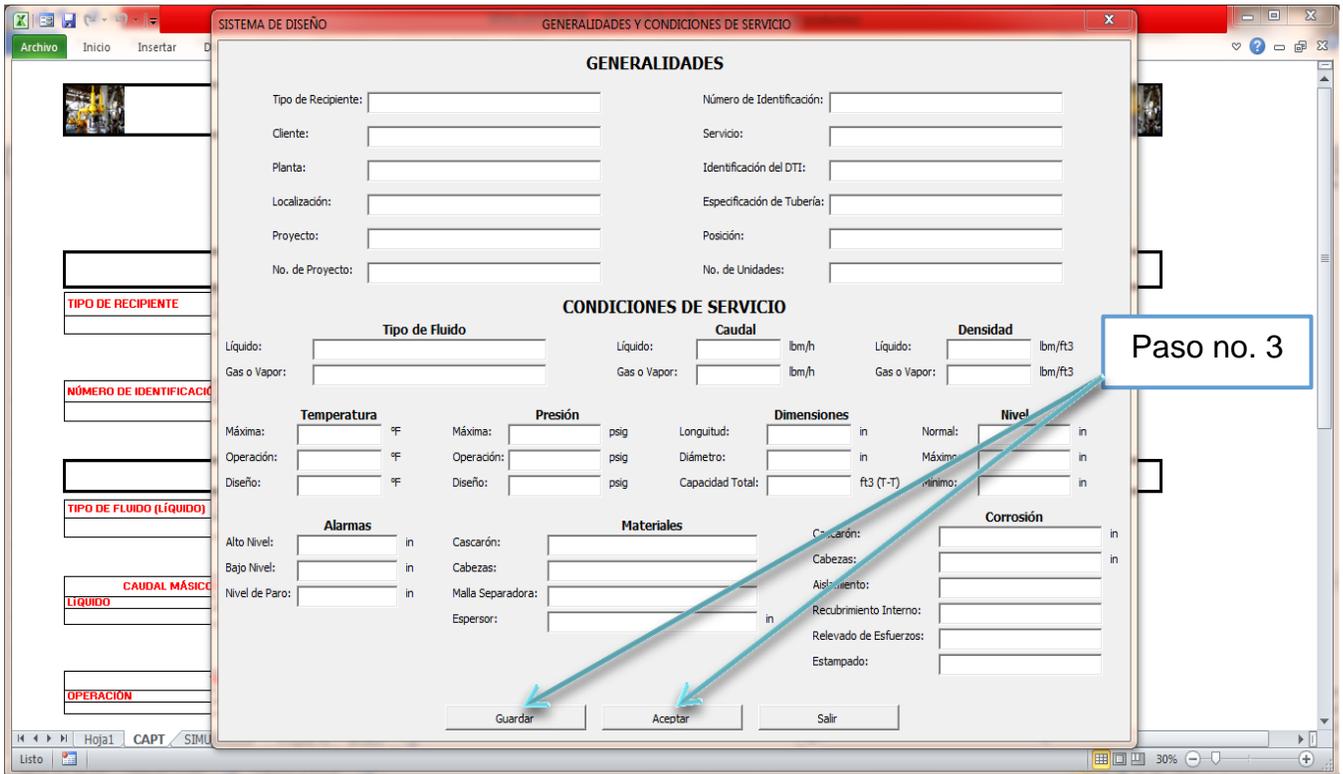


FIGURA 39—SECCIÓN DEL BOTÓN 3 CÁLCULO DE LA PRV, MOSTRANDO LA VENTANA SISTEMA DE DISEÑO Y CONDICIONES DE SERVICIO

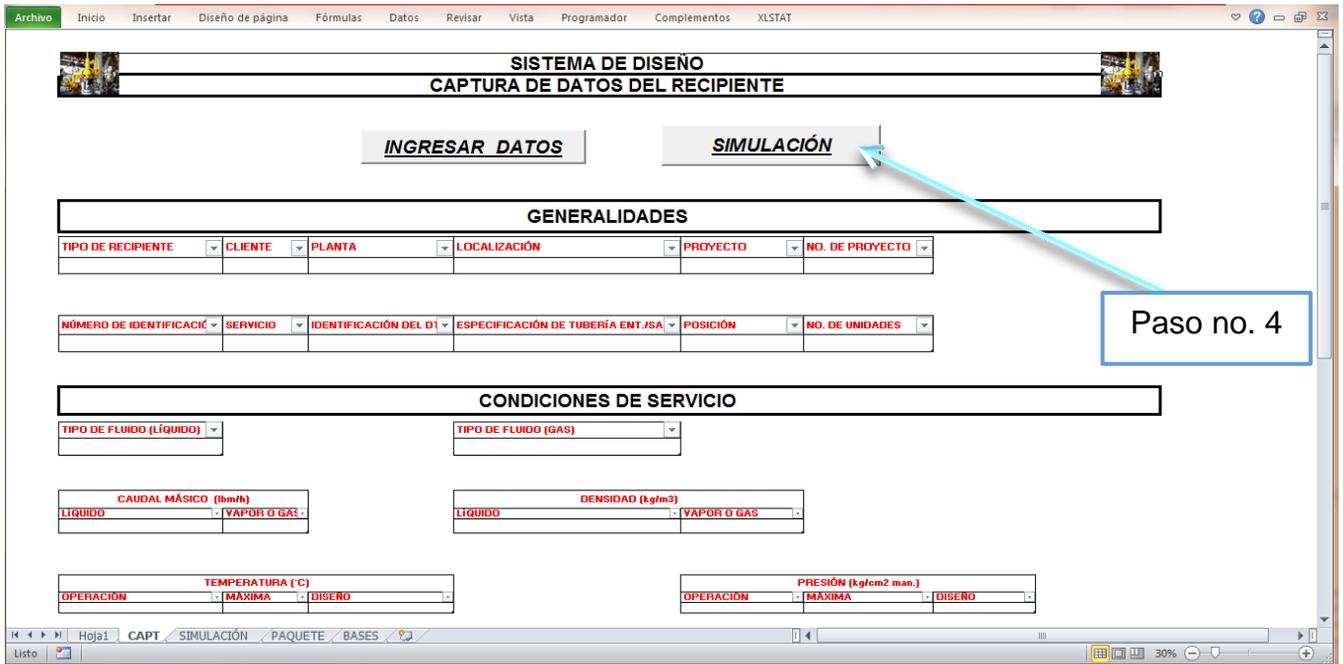


FIGURA 40—SECCIÓN DEL BOTÓN 3 CÁLCULO DE LA PRV

## 4.5.5—DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y SIMULACIÓN DE DISEÑO DE LA PRV

### SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV

Esta parte es fundamental en el Simulador RELIEF

Después de dar clic en el Botón derecho nombrado (SIMULACIÓN), del fragmento de Excel llamado SISTEMA DE DISEÑO-CAPTURA DE DATOS DE EL RECIPIENTE, RELIEF nos conducirá a otro fragmento de Excel llamado SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV.

En seguida se enumeraran los pasos que debe de seguir para esta sección:

- 1) Ingresar al fragmento de Excel llamado SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV, por medio del Botón llamado (SIMULACIÓN), de la sección del Botón 3 Cálculo de la PRV.

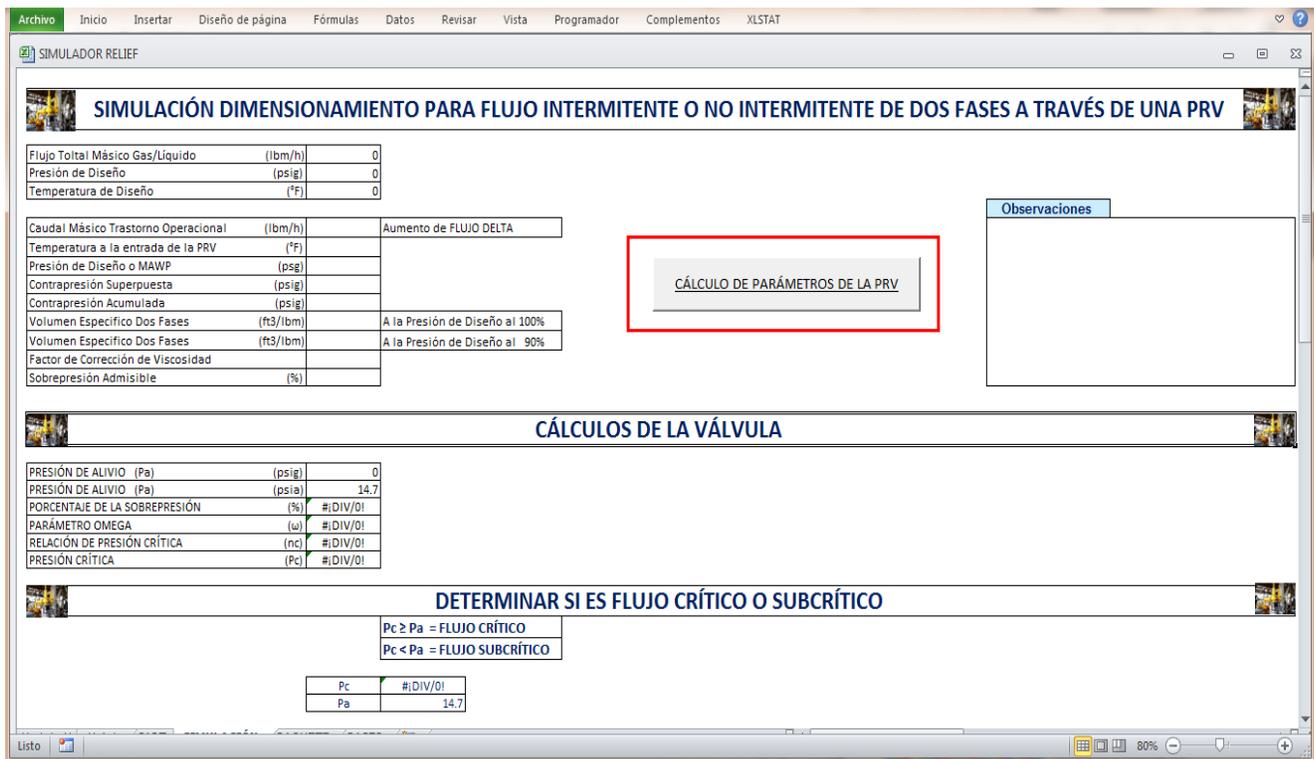


FIGURA 41— FRAGMENTO DE EXCEL 1

#### 4.5.6— SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV

- 2) Dar clic en el Botón nombrado CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA PRV
- 3) De inmediato aparecerá una ventana llamada DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES PARA UNA PRV, en dicha ventana tendrá que llenar Condiciones y Propiedades Físico-Químicas del Líquido-Vapor.

Estas son las Condiciones y Propiedades Físico-Químicas del Líquido-Vapor que deberá completar:

- Caudal Másico Trastorno Operacional (el aumento)
- Temperatura a la Entrada de la PRV
- Presión de Diseño o MAWP
- Contrapresión Superpuesta
- Contrapresión Acumulada
- Volumen Específico (del Líquido-Vapor al 100 % de la Presión de Diseño o MAWP)
- Volumen Específico (del Líquido-Vapor al 90 % de la Presión de Diseño o MAWP)
- Factor de Corrección de Viscosidad
- Sobrepresión Admisible (porcentaje)
- Observaciones

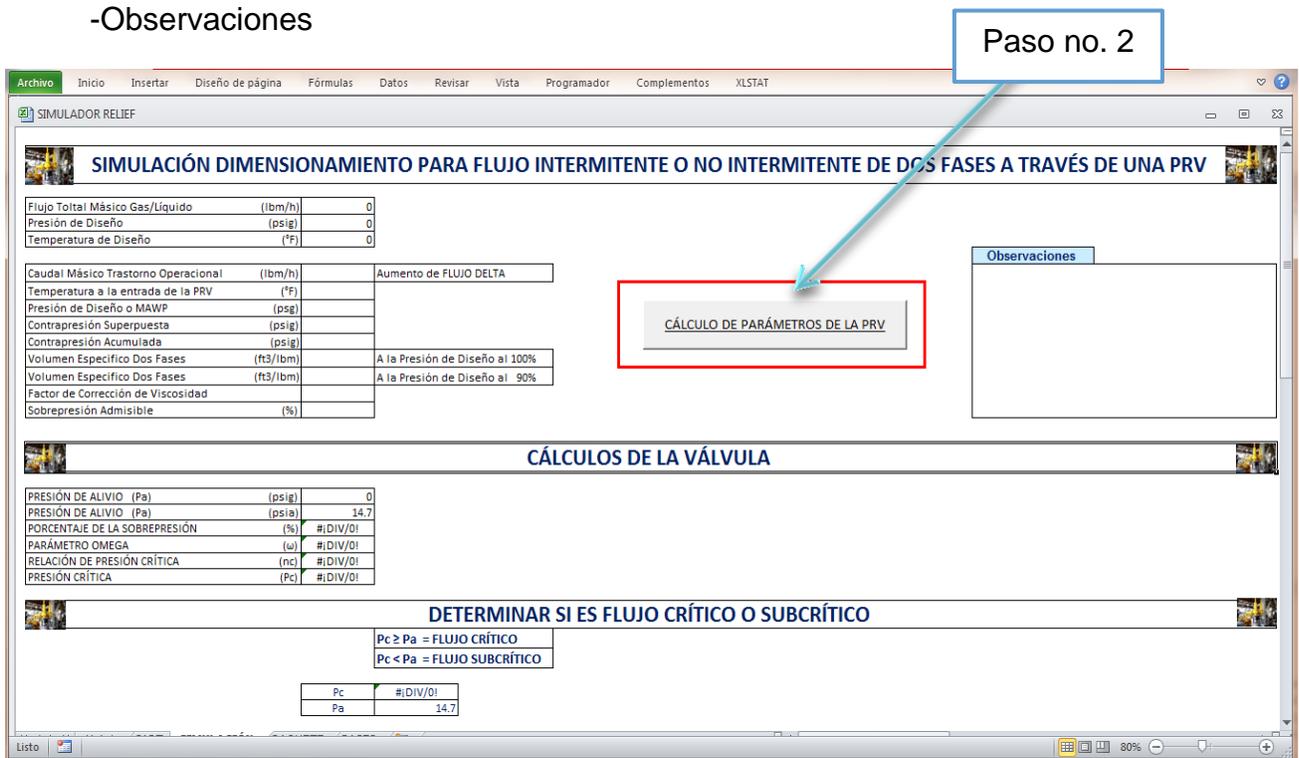
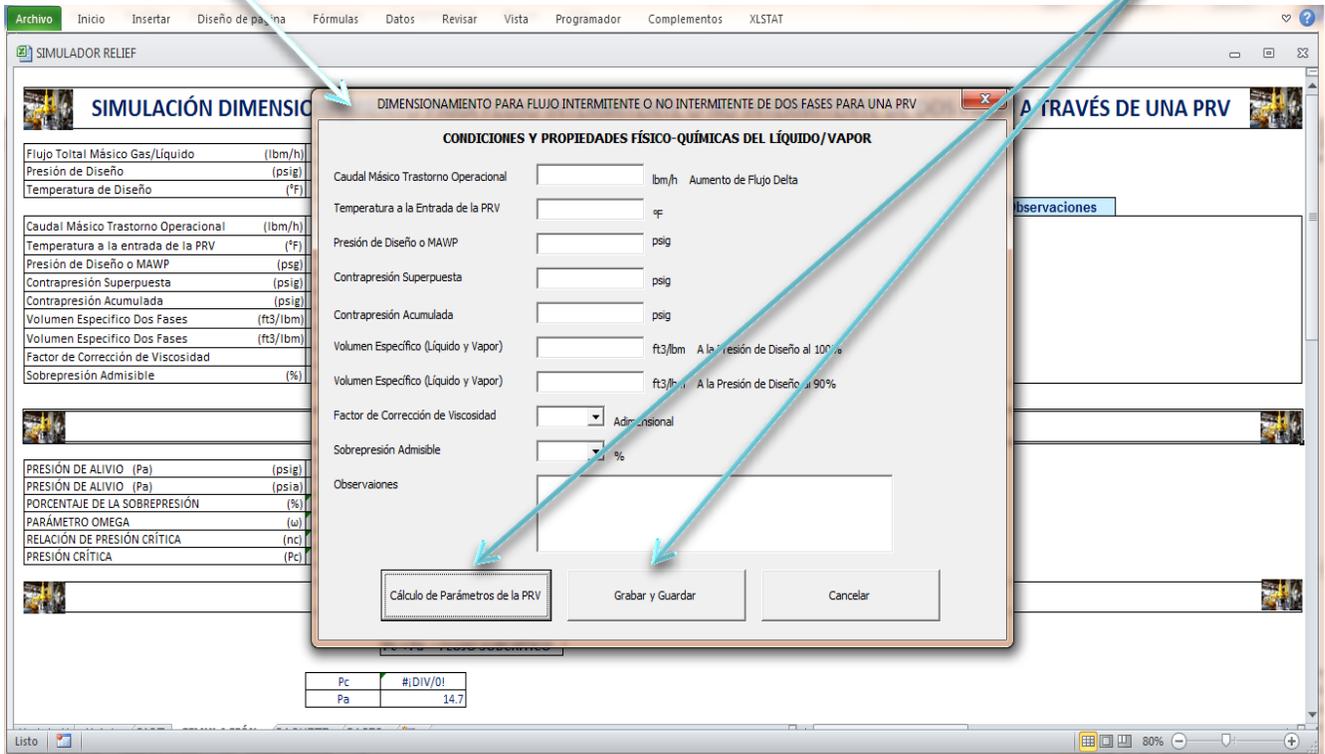


FIGURA 42 —FRAGMENTO DE EXCEL 2

4) Una vez ya completado las Condiciones y Propiedades Físico-Químicas del Líquido-Vapor, deberá dar clic en los Botones Cálculo de Parámetros de la PRV y Grabar y Guardar.

Paso no. 3

Paso no. 4



**FIGURA 43— FRAGMENTO DE EXCEL 3**

**SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV**

#### 4.5.7 —CÁLCULOS DE LA VÁLVULA Y DETERMINACIÓN SI ES FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO

El Botón Cálculo de Parámetros de la PRV, genera una serie de cálculos en el Fragmento de Excel SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV, el cual son los siguientes:

PRESIÓN DE ALIVIO (Pa)	(psig)
PRESIÓN DE ALIVIO (Pa)	(psia)
PORCENTAJE DE LA SOBREPRESIÓN	(%)
PARÁMETRO OMEGA	( $\omega$ )
RELACIÓN DE PRESIÓN CRÍTICA	(nc)
PRESIÓN CRÍTICA	(Pc)

**TABLA 7 — CÁLCULOS DE LA PRV**

Simulador RELIEF, cuenta en su programación un orden en sus resultados que va arrojando el mismo software, para que la persona que utilice este Simulador vaya conociendo sus resultados.

Los siguientes pasos expresan la última parte del simulador RELIEF, la parte más crítica del software

- 1) Llegar al tema (DETERMINAR SI ES FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO), del Fragmento de Excel SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV
- 2) Después de la parte anterior Simulador RELIEF arrojará resultados, uno de ellos es  $P_c$  (Presión Crítica) y  $P_a$  (Presión de Alivio)
- 3) Es importantísimo verificar los resultado y atender las condiciones de esta parte, que es determinar si es FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO, para poder determinarlo aparece un cuadro comparativo de  $P_c$  (Presión Crítica) y  $P_a$  (Presión de Alivio), donde usted podrá decidir que tipo de flujo es.

El cuadro comparativo explica las condiciones en el cual podrá tomar una decisión

Paso no. 1

Paso no. 3  
Cuadro Comparativo

**DETERMINAR SI ES FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO**

$P_c \geq P_a = \text{FLUJO CRÍTICO}$   
 $P_c < P_a = \text{FLUJO SUBCRÍTICO}$

$P_c$	#DIV/0!
$P_a$	14.7

CÁLCULO FINAL DE LA PRV

Caudal Másico Total Líquido/Gas-Vapor (lbm/h)	0
Coefficiente de Descarga (Kd)	
Factor de Corrección de Contrapresión para el vapor (Kb)	
Factor de Corrección de Combinación con un Disco de Ruptura (Kc)	
Factor de Corrección de Viscosidad (Kv)	

na RELACIÓN DE CONTRAPRESIÓN	0
FLUX DE MASA (lbm/s ft2)	#DIV/0!
ÁREA REQUERIDA DE LA PRV (in2)	#DIV/0!

**FLUJO CRÍTICO**

FLUX DE MASA (lbm/s ft2)	#DIV/0!
ÁREA REQUERIDA DE LA PRV (in2)	#DIV/0!

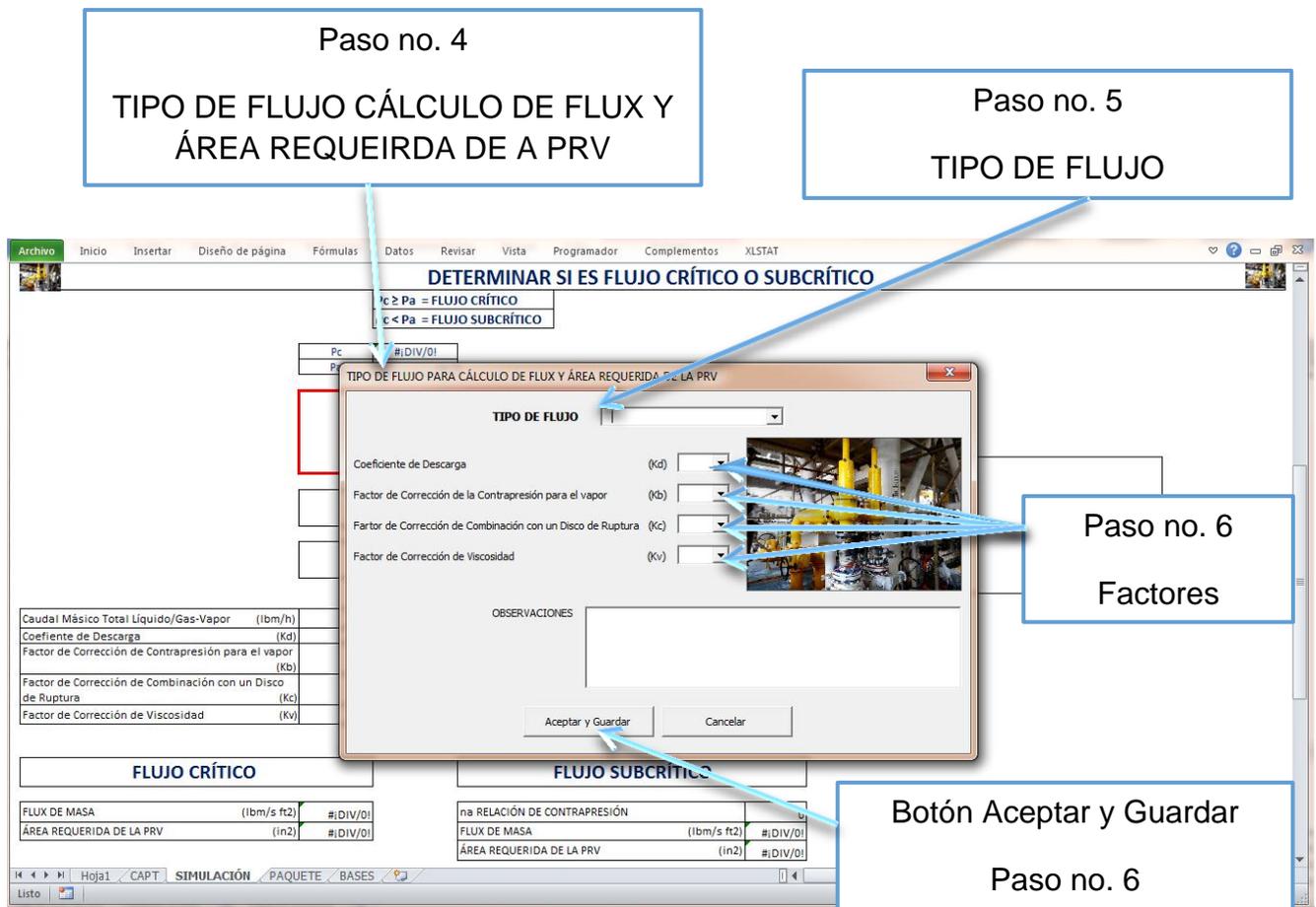
**FLUJO SUBCRÍTICO**

na RELACIÓN DE CONTRAPRESIÓN	0
FLUX DE MASA (lbm/s ft2)	#DIV/0!
ÁREA REQUERIDA DE LA PRV (in2)	#DIV/0!

Paso no. 2

**FIGURA 44— DETERMINAR SI ES FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO**

- 4) Una vez teniendo una solución, si es FLUJO CRÍTICO O SUBCRÍTICO. Deberá dar clic en el Botón CÁLCULO FINAL DE LA PRV, aparecerá una ventana nombrada (TIPO DE FLUJO PARA CÁLCULO DE FLUX Y ÁREA REQUERIDA DE LA PRV)



**FIGURA 45— VENTANA TIPO DE FLUJO PARA CÁLCULO DE FLUX MASA Y ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA DE LA PRV**

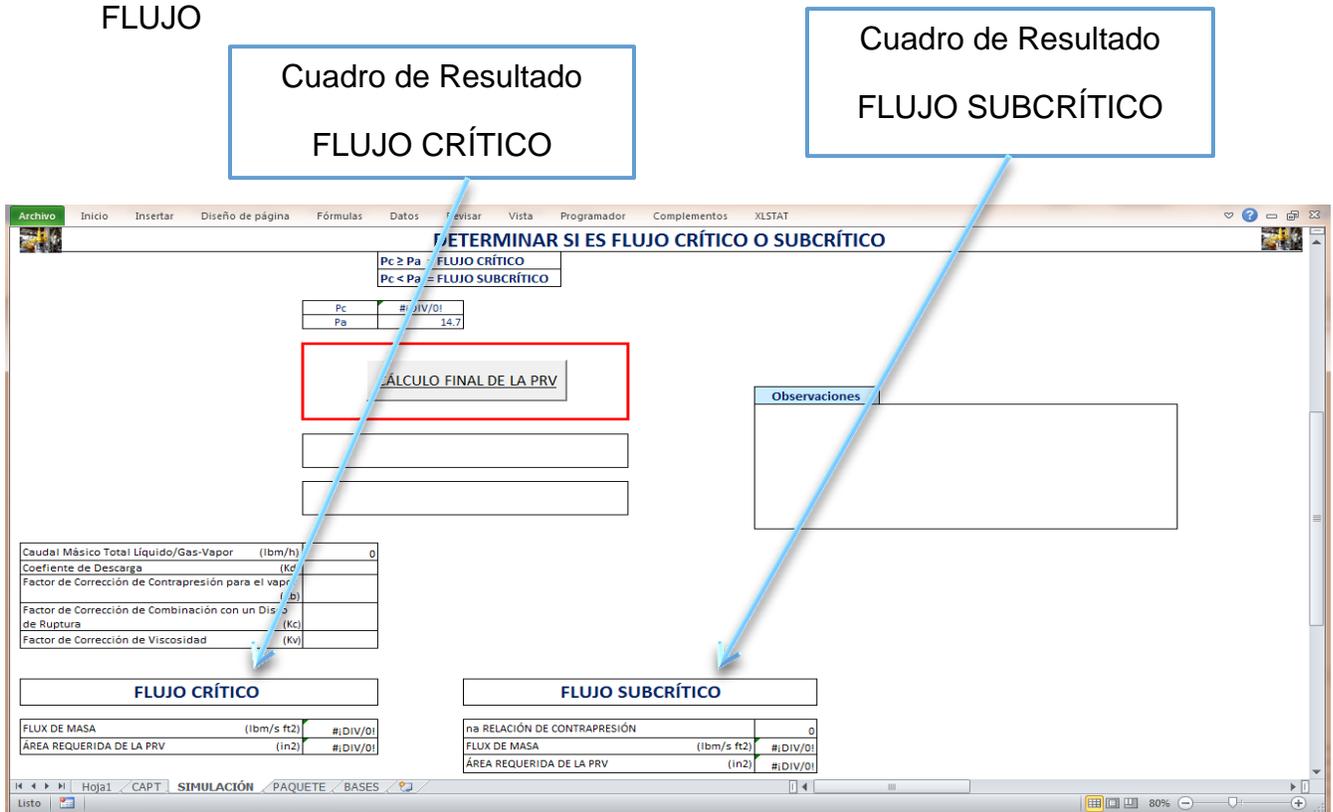
- 5) En la ventana ya nombrada, deberá de colocar el TIPO DE FLUJO que determino el Simulador RELIEF, tomando en cuenta el cuadro comparativo
- 6) Después deberá llenar factores para poder obtener el Cálculo del Flux y Área de la PRV y dar clic en el Botón de la ventana (Aceptar y Guardar)

Lista de los Factores a solicitar:

- Coeficiente de Descarga
- Factor de Corrección de la Contrapresión para el Vapor
- Factor de Corrección de Combinación con un Disco de Ruptura
- Factor de Corrección de Viscosidad

NOTA IMPORTANTE: en esta Tesis en el Capítulo Casos de Estudio, aparece una serie de valores recomendados para su fácil accesibilidad a estos factores.

- 7) Una vez que se cumple con los pasos 4, 5 y 6, finalmente llega la parte de capturar los resultados finales que aparecen en dos Cuadros de Resultados cada uno de ellos tiene como título (FLUJO CRÍTICO y FLUJO SUBCRÍTICO) del fragmento de Excel SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV en el Tema TIPO DE FLUJO



**FIGURA 46— VENTANA DE CUADROS DE RESULTADOS**

- 8) De acuerdo al TIPO DE FLUJO podrá capturar los resultados de uno de los dos cuadros de resultados

Nota: Aparecerán los dos cuadros con resultados, por lo que deberá elegir el correcto según su Tipo de Flujo que eligió. Su función de los cuadros es ser comparativo en Flujo Crítico y Flujo Subcrítico

- 9) Una vez cumplidos el paso 7 y 8, simplemente obtendrá los siguientes resultados finales:

**FLUX DE MASA** [lbm/s ft2]

**ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA DE LA PRV** [in2]



# CAPÍTULO 5

## CASOS DE ESTUDIO



## 5.1 CASO NO. 1 DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO (FLUJO A DOS FASES LÍQUIDO/VAPOR)

Se desea hacer un diseño teórico de Válvula de Seguridad-Alivio, utilizando Simulador RELEIF. Tomando en cuenta que éste caso, es muy similar a los que se presentan en el campo laboral del Ingeniero Químico. Al diseñar la Válvula los dos Parámetros importantísimos son:

- Flux de Masa que debe aliviar la Válvula de Seguridad-Alivio
- Área de Descarga Efectiva Requerida de la Válvula de Seguridad-Alivio

RELEIF es un Software para Dimensionamiento de Flujo Intermitente y No Intermitente de Dos Fases a través de una PRV, Utilizando el Método Leung Omega ( $\omega$ ).

### CASO NO. 1

*Separador de Diesel*

*Datos:*

<b>-Caudal bifásico de un Separador de Diesel, causando un trastorno operacional de 477,340 lb/h (216,569 kg/h). Este flujo es aguas abajo del Condensador</b>
<b>-Temperatura en la entrada de la PRV es 200°F (654 R = 366.5 K)</b>
<b>-PRV fijada en 60 psig (413.7 kPag), es Presión de Diseño</b>
<b>-Contrapresión Total aguas abajo es de 15 psig (29.7 psia = 204.7 kPa), Contrapresión Superpuesta 0 psig, Contrapresión Acumulada es de 15 psi</b>
<b>-Volumen Especifico de dos fase en la entrada de la PRV de 0.311 ft<sup>3</sup>/lb (0.01945 m<sup>3</sup>/kg)</b>
<b>-Sobrepresión Admisible (Acumulación del 10%)</b>
<b>-Para este caso hay un Factor de Corrección de Viscosidad es Kv=1.0</b>

## 5.11 SOLUCIÓN

La solución para este caso será explicado por medio de los siguientes pasos:

- 1) Abrir el Simulador RELIEF
- 2) Dar clic en **INICIO AHORA**
- 3) En la ventana nombrada PANTALLA DE INICIO; y colocar el TIPO DE PRV: colocara Válvula de Seguridad-Alivio/Válvula de Seguridad-Relevo
- 4) Dar clic en la secuencia de la numeración de los botones, en cada sección se podrá acceder a la PANTALLA DE INICIO, pasando por la secuencia se debe recolectar los datos necesarios que se necesitaran posteriormente, para más detalles ir a la parte de **CURSO DINÁMICO DEL SIMULADOR RELEIF**

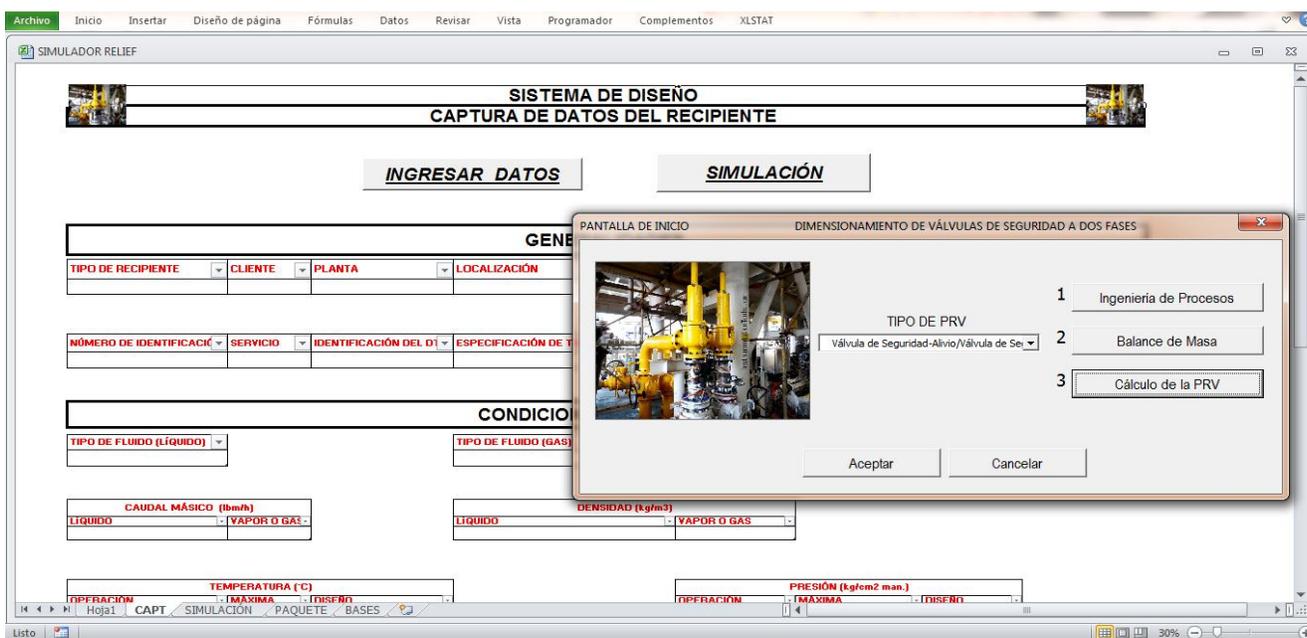
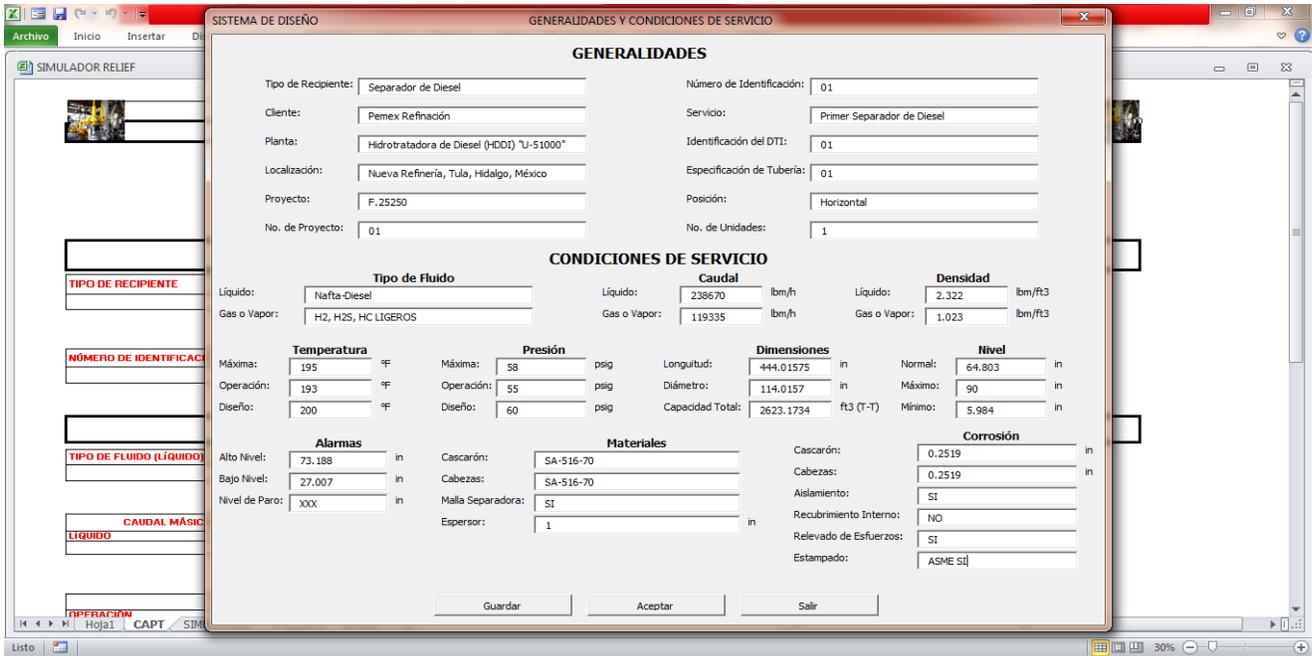


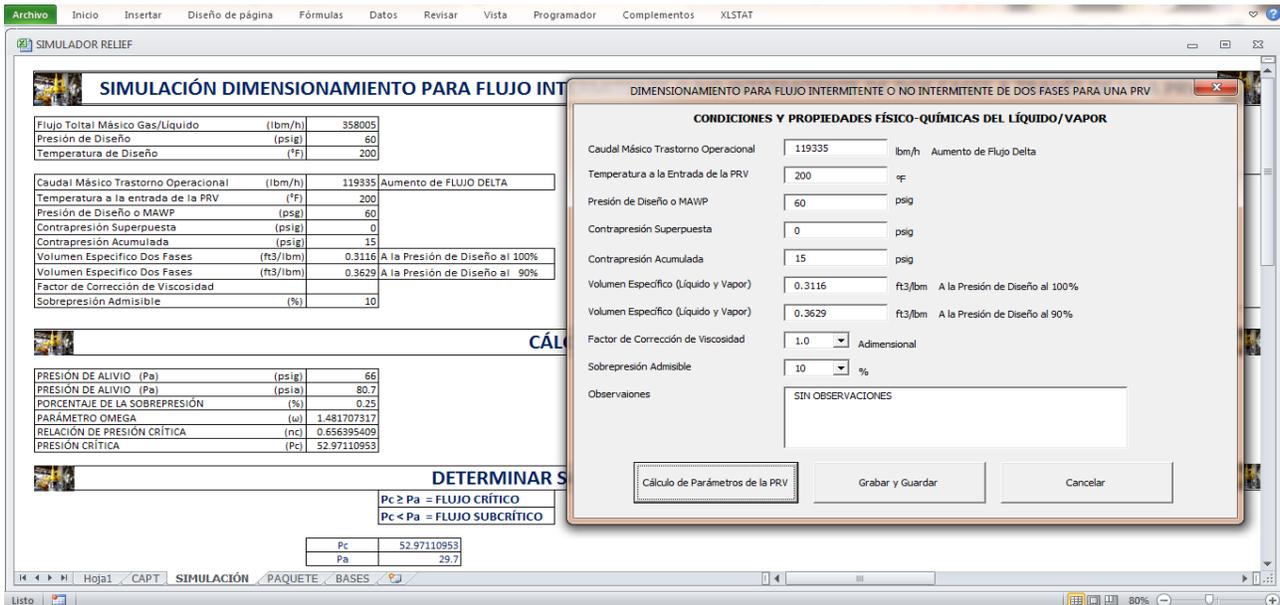
FIGURA 47— VENTANA PANTALLA DE INICIO (1)

- 5) En la Figura 4.1, deberá de dar clic en Aceptar, después de colocar el TIPO DE PRV y el Botón 3 Cálculo de la PRV
- 6) Dar clic en el Botón **INGRESAR DATOS**, y procederá a ingresar lo que le solicita



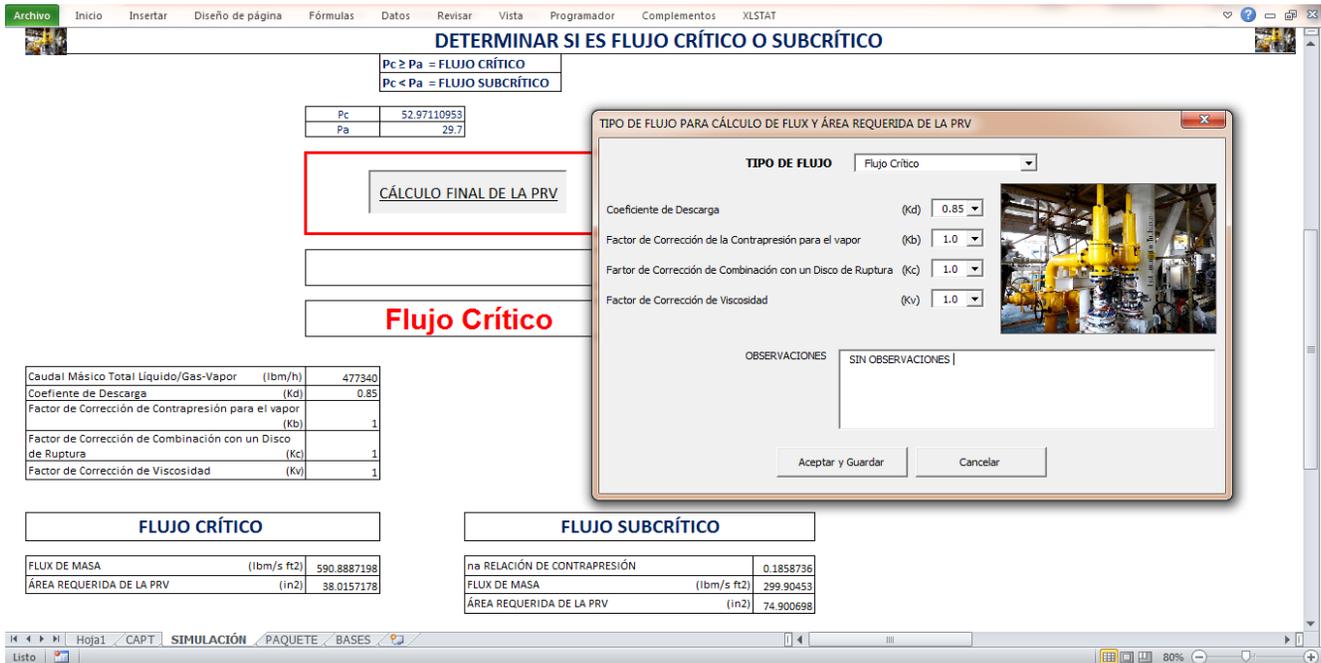
**FIGURA 48— INGRESO DE DATOS (1)**

- 7) Después del Ingreso de Datos, dar clic en Guarda y Aceptar inmediatamente
- 8) Ir a la sección de cálculos en el Fragmento de Excel SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV, e iniciar con la Simulación



**FIGURA 49— INGRESANDO DATOS EN VENTANA DE DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV (1)**

- 9) Verificar que tipo de Flujo es correspondiendo a las Indicaciones ya mencionadas  
 10) Realizar el último paso en el Botón **CÁLCULO FINAL DE LA PRV**



**FIGURA 50— MUESTRA DE LA VENTANA” TIPO DE FLUJO PARA CÁLCULO DE FLUX DE MASA Y ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA DE LA PRV” (1)**



**FIGURA 51 — MUESTRA DE LOS CÁLCULOS FINALES Y EL TIPO DE FLUJO CALCULADO (1)**

### 5.1.2—SELECCIÓN DEL ÁREA DEL ORIFICO DE LA PRV (OPCIONAL)

- Tipo de Flujo con Simulador RELIEF = CRÍTICO
- Área Calculada con Simulador RELIEF = 38.0157178 in<sup>2</sup>
- Flux de Masa con Simulador RELEIF = 590.8887198 lbm/sft<sup>2</sup>

**TABLA 11— ÁREA DEL ORIFICO DE LA PRV**

Designación de Orificio	Área Nominal in <sup>2</sup>	Designación de Orificio	Área Nominal in <sup>2</sup>
D	0.1100502	L	2.8535557
E	0.1953004	M	3.6006572
F	0.3069006	N	4.34001
G	0.502201	P	6.3798128
H	0.7843016	Q	11.049972
J	1.2865	R	16.000682
K	1.8383037	T	25.999752

El Área puede cumplirse en su totalidad con:

- Dos PRV Orificio (Q)
- Una PRV Orificio (R)

Formulando lo siguiente:

$$[(2 \text{ PRV}) * (11.005 \text{ in}^2) + (1 \text{ PRV}) * (16.00 \text{ in}^2)] = 38.01 \text{ in}^2$$

Dado éste CASO NO. 1, resultado en múltiples válvulas, el área requerida podría recalcularse como CASO NO. 2, con una sobrepresión del 16%, para conocer qué efecto tiene en el área requerida, ya sea si disminuye, aumenta o queda muy similar a el CASO NO. 1.

Una de las razones más importantes es procurar que el área sea la más pequeña posible por cuestiones de costos de Ingeniería. Reafirmando que para obtener una decisión confiable se debe de realizar un Análisis de Ingeniería de Diseño Certificado pertinente.

## 5.2 CASO NO. 2 DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO (FLUJO A DOS FASES LÍQUIDO/VAPOR)

Se desea hacer un diseño teórico de Válvula de Seguridad-Alivio, utilizando Simulador RELEIF. Tomando en cuenta que este caso, es muy similar a los que se presentan en el campo laboral del Ingeniero Químico. Al diseñar la Válvula los dos Parámetros importantísimos son:

- Flux de Masa que debe aliviar la Válvula de Seguridad-Alivio
- Área de Descarga Efectiva Requerida de la Válvula de Seguridad-Alivio

RELEIF es un Software para Dimensionamiento de Flujo Intermitente y No Intermitente de Dos Fases a través de una PRV, Utilizando el Método Leung Omega ( $\omega$ ).

### CASO NO. 2

*Separador de Diesel*

*Datos:*

<b>- Caudal bifásico de un Separador de Diesel, causando un trastorno operacional de 477,340 lb/h (216,569 kg/h). Este flujo es aguas abajo del Condensador</b>
<b>-Temperatura en la entrada de la PRV es 200°F (654 R = 366.5 K)</b>
<b>-PRV fijada en 60 psig (413.7 kPag), es Presión de Diseño</b>
<b>-Contrapresión Total aguas abajo es de 15 psig (29.7 psia = 204.7 kPa), Contrapresión Superpuesta 0 psig, Contrapresión Acumulada es de 15 psi</b>
<b>-Volumen Especifico de dos fase en la entrada de la PRV de 0.311 ft<sup>3</sup>/lb (0.01945 m<sup>3</sup>/kg)</b>
<b>-Sobrepresión Admisible (Acumulación del 16%)</b>
<b>-Para este caso hay un Factor de Corrección de Viscosidad es Kv=1.0</b>

## 5.2.1 —SOLUCIÓN

El criterio principal para el CASO NO.2; es aumentar la Sobrepresión Admisible a 16%, para poder considerar no tener múltiples válvulas, y así generar otra opción de Diseño.

Siguiendo los mismos pasos y parámetros que en el CASO NO.1, solo se incrementará a 16 % la Sobrepresión Acumulada a CASO NO.2.

Considerando parámetros totalmente iguales

- 1) Abrir el Simulador RELIEF
- 2) Dar clic en **INICIO AHORA**
- 3) En la ventana nombrada PANTALLA DE INICIO; y colocar el TIPO DE PRV: colocara Válvula de Seguridad-Alivio/Válvula de Seguridad-Relevo
- 4) Dar clic en la secuencia de la numeración de los botones, en cada sección se podrá acceder a la PANTALLA DE INICIO, pasando por la secuencia se debe recolectar los datos necesarios que se necesitaran posteriormente, para más detalles ir a la parte de **CURSO DINÁMICO DEL SIMULADOR RELEIF**

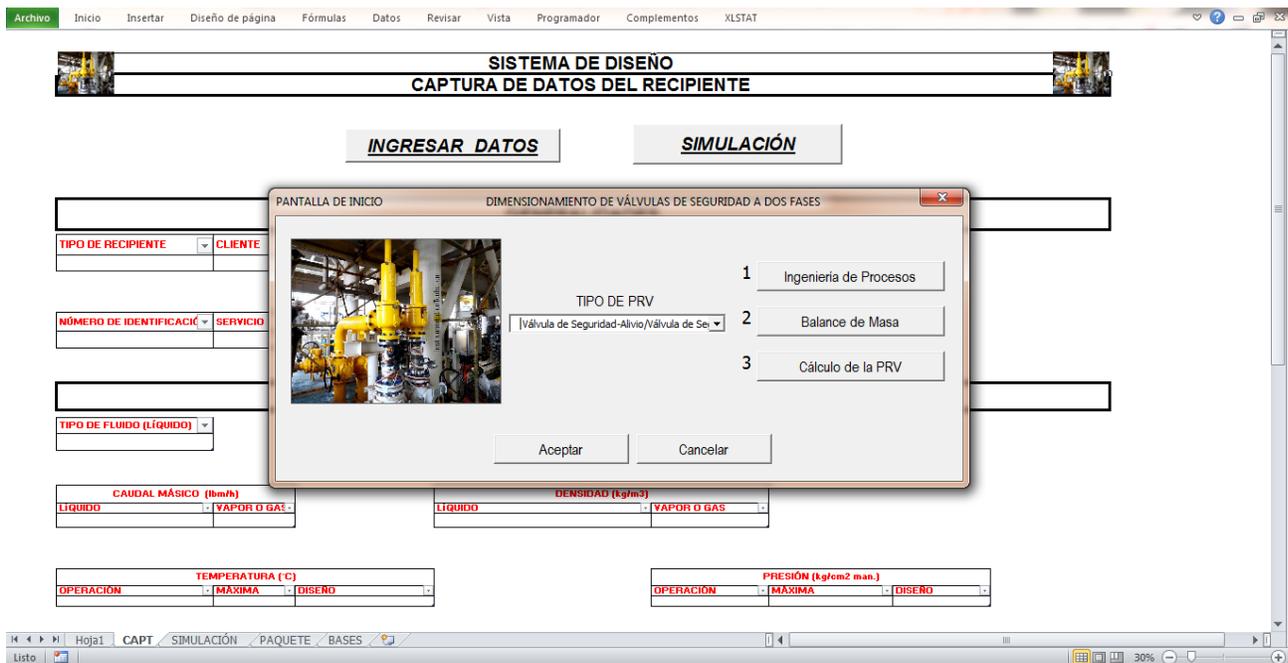
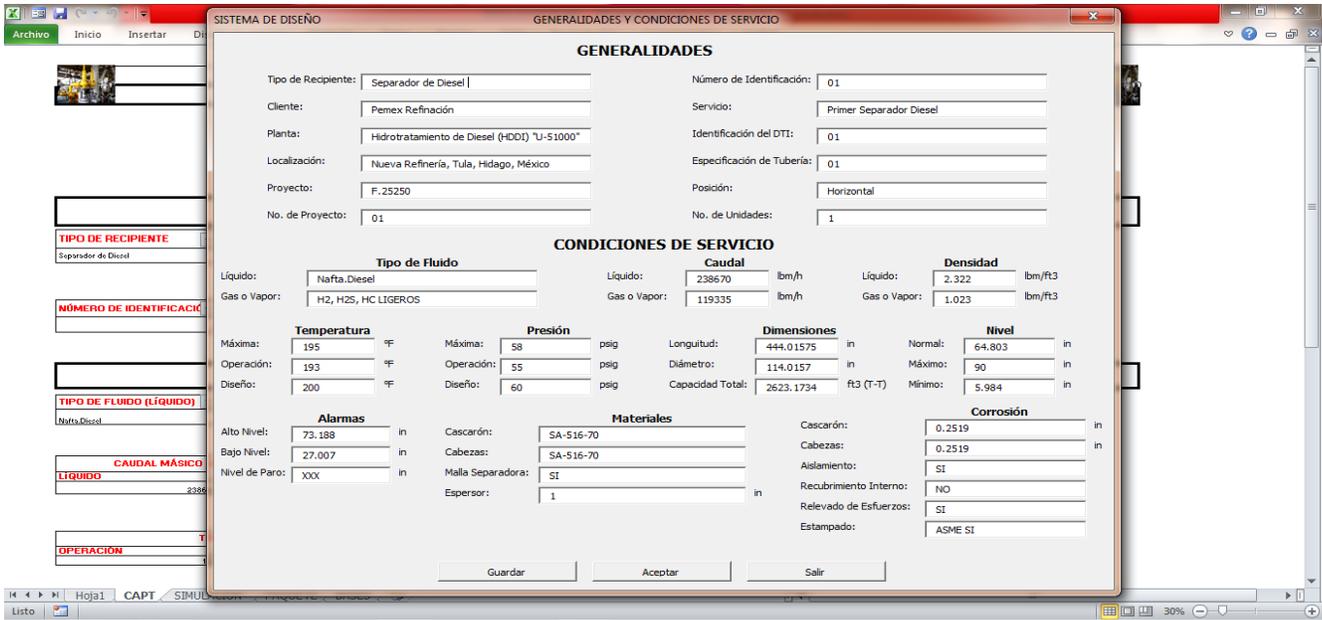


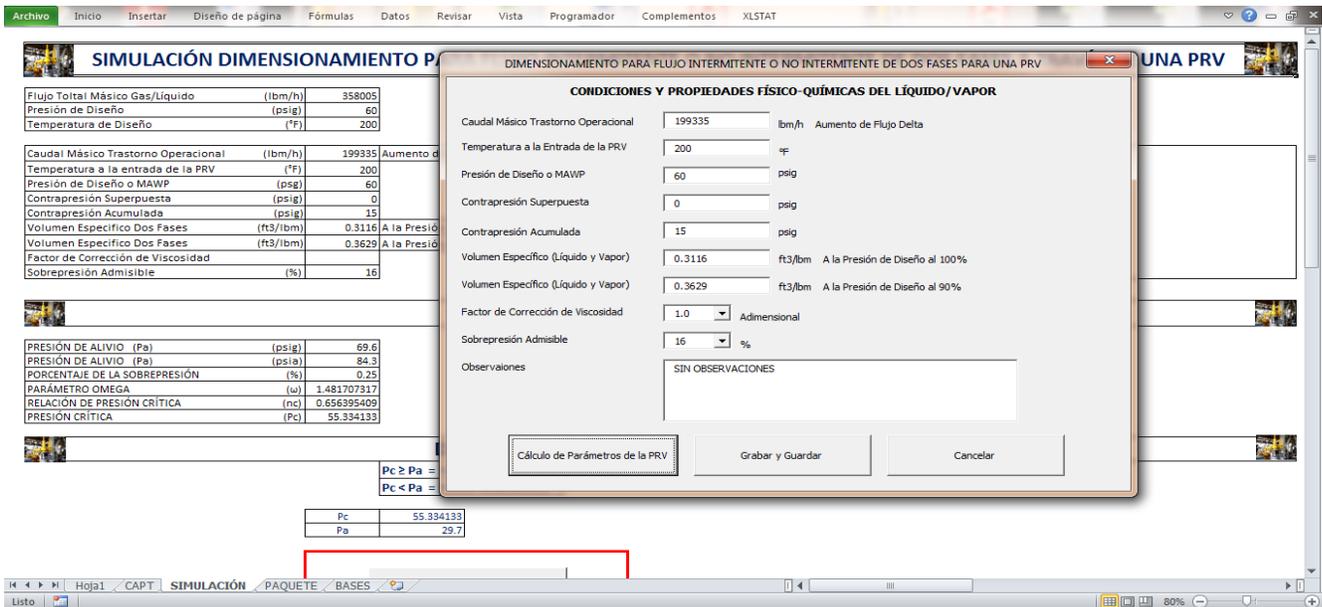
FIGURA 52—VENTANA PANTALLA DE INICIO (2)

- 1) Al llegar al punto de la Figura 4.1, deberá de dar clic en Aceptar
- 2) Dar clic en el Botón **INGRESAR DATOS**, y procederá a ingresar lo que le solicita



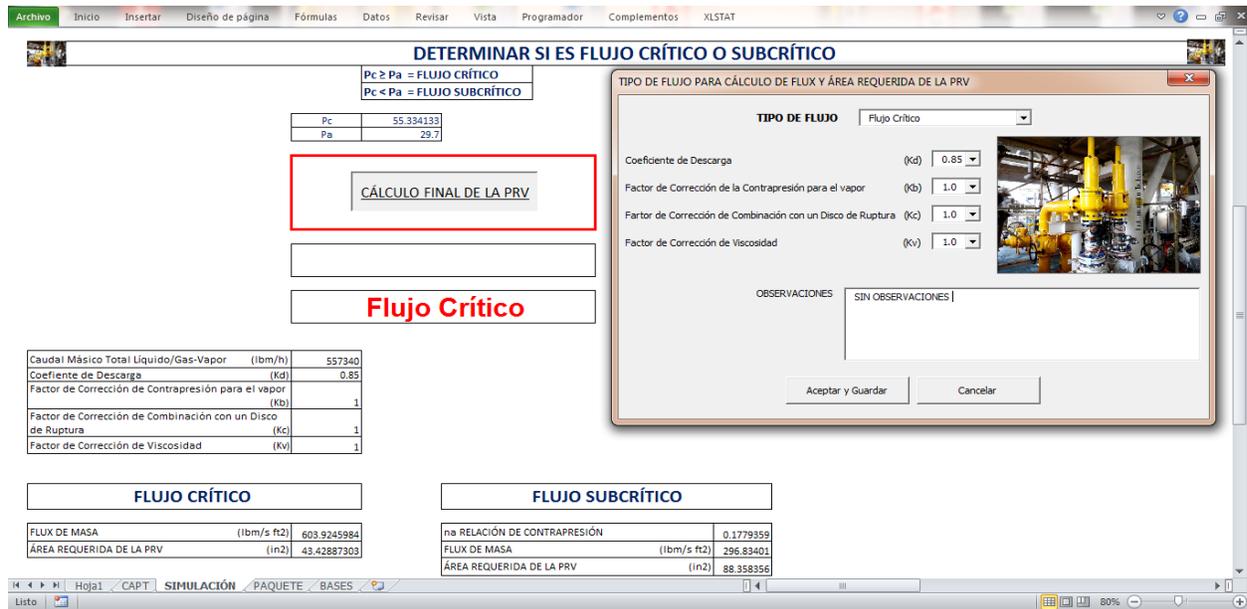
**FIGURA 53— INGRESO DE DATOS (2)**

- 3) Después del Ingreso de Datos, dar clic en Guarda y Aceptar inmediatamente
- 4) Ir a la sección de cálculos en el Fragmento de Excel SIMULACIÓN DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV, e iniciar con la Simulación



**FIGURA 54— INGRESANDO DATOS EN VENTANA DE DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO INTERMITENTE O NO INTERMITENTE DE DOS FASES A TRAVÉS DE UNA PRV (2)**

- 5) En la Figura 4.1, deberá de dar clic en Aceptar, después de colocar el TIPO DE PRV y el Botón 3 Cálculo de la PRV
- 6) Dar clic en el Botón **INGRESAR DATOS**, y procederá a ingresar lo que le solicita



**FIGURA 55—MUESTRA LA VENTANA TIPO DE FLUJO PARA CÁLCULO DE FLUX DE MASA Y ÁREA DE DESCARGA EFECTIVA REQUERIDA DE LA PRV (2)**



**FIGURA 56— MUESTRA LOS CÁLCULOS FINALES Y EL TIPO DE FLUJO CALCULADO (2)**

## 5.2.2—SELECCIÓN DEL ÁREA DEL ORIFICO DE LA PRV (OPCIONAL)

- Tipo de Flujo con Simulador RELIEF = CRÍTICO
- Área Calculada con Simulador RELIEF = 37.19513807 in<sup>2</sup>
- Flux de Masa con Simulador RELEIF = 603.9245984 lbm/sft<sup>2</sup>

**TABLA 12— ÁREA DEL ORIFICO DE LA PRV**

Designación de Orificio	Área Nominal	Designación de Orificio	Área Nominal
	in <sup>2</sup>		in <sup>2</sup>
D	0.1100502	L	2.8535557
E	0.1953004	M	3.6006572
F	0.3069006	N	4.34001
G	0.502201	P	6.3798128
H	0.7843016	Q	11.049972
J	1.2865	R	16.000682
K	1.8383037	T	25.999752

El Área puede cumplirse en su totalidad con:

Opción no. 1

- Dos PRV Orificio (Q)
- Una PRV Orificio (R)

Formulando lo siguiente:

$$[(2 \text{ PRV}) * (11.005 \text{ in}^2) + (1 \text{ PRV}) * (16.00 \text{ in}^2)] = 38.01 \text{ in}^2$$

Opción no.2

- Una PRV Orificio (T)
- Una PRV Orificio (Q)

Formulando lo siguiente:

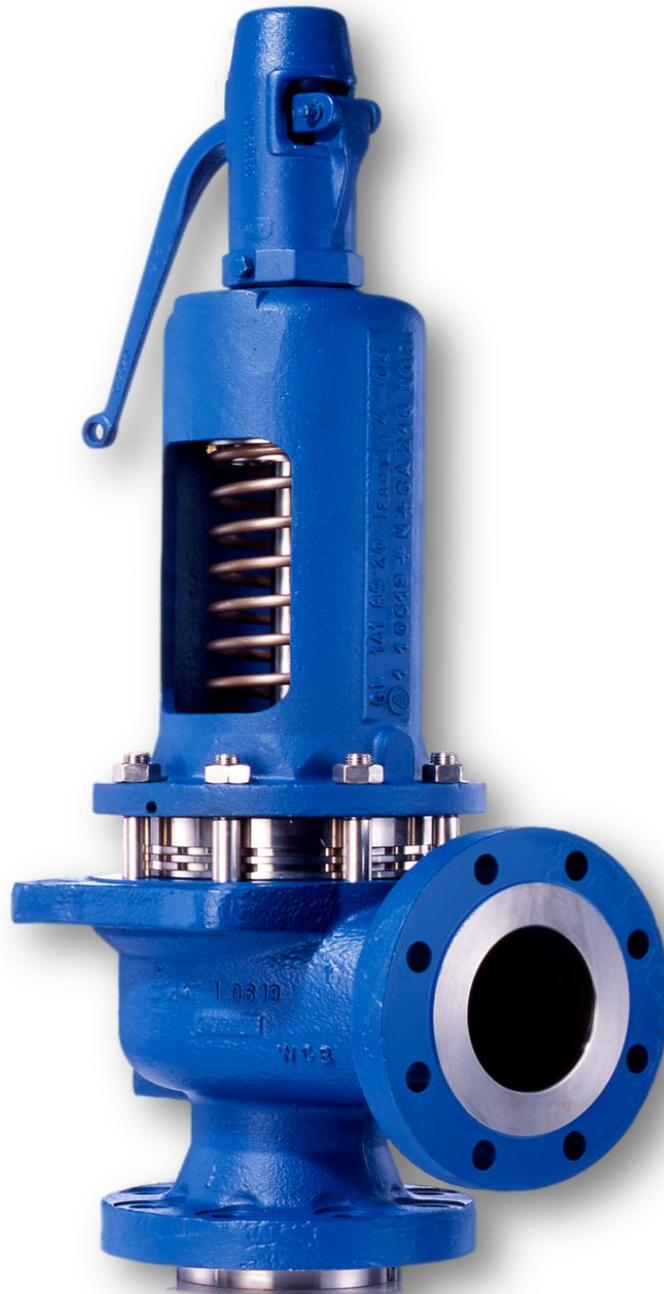
$$[(1 \text{ PRV}) * (25.999752 \text{ in}^2) + (1 \text{ PRV}) * (11.49972 \text{ in}^2)] = 37.049724 \text{ in}^2$$

Una de las razones más importantes es procurar que el área sea la más pequeña posible por cuestiones de costos de Ingeniería. Reafirmando que para obtener una decisión confiable se debe de realizar un Análisis de Ingeniería de Diseño Certificado pertinente.



# CAPÍTULO 6

## RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS



## 6.1 —VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Simulador RELEIF, contiene una estructura basada en algoritmos que contienen una confiabilidad y una cercanía a la exactitud en sus resultados, de igual manera sus predicciones, deben ser examinados por un Análisis de Ingeniería de Diseño Calificado, para así poder tener un diseño óptimo de una PRV.

Por lo tanto RELIEF da sustentos para poder aceptar sus Resultados:

### CASO NO. 1

- 1) El caso de estudio no.1, que se explica en el Capítulo anterior; es similar a un CASO que se encuentra Estándar API 520 Parte 1; 2019. Por lo tanto al realizar una comparación los resultados son muy similares, teniendo así una orientación confiable en el diseño de la PRV.
- 2) Se ha detectado en el Estándar API 520 Parte 1; 2019, el criterio de redondeo en sus resultados y RELIEF no hace dicho redondeo, por lo tanto genera una variación considerable en ambos
- 3) Los parámetros Presión Crítica (Pc) y Relación de Presión Crítica (nc), son aquellos donde encontramos más variación, detectando que en RELIEF, utiliza la ecuación de aproximación para el cálculo de Relación de Presión Crítica (nc) y así genera que Pc sea diferente al Estándar API 520 Parte 1; 2019.

**TABLA 8—COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL ESTÁNDAR API 520 PARTE 1; 2019 Y SIMULADOR RELIEF CON UNA SOBREPRESIÓN DEL 10% CADA UNO**

<b>Diseño de PRV Válvula de Seguridad-Alivio</b>			
<b>Resultados</b>			
<b>API 520</b>		<b>Simulador RELIEF</b>	
Caudal Máscico Total Líquido/Vapor-Gas= [lbm/h]	477,340.00	Caudal Máscico Total Líquido/Vapor-Gas= [lbm/h]	477,340.00
Presión Crítica (Pc) = [psia]	53.29	Presión Crítica (Pc) = [psia]	52.97110953
Contrapresión aguas abajo (Pa) = [psia]	29.7	Contrapresión aguas abajo (Pa) = [psia]	29.7
Relación de Presión Crítica (nc)	0.66	Relación de Presión Crítica (nc)	0.656395409
Tipo de Flujo	Crítico	Tipo de Flujo	Crítico
Flux de Masa (G) = [lbm/s ft2]	594.1	Flux de Masa (G) = [lbm/s ft2]	590.8887198
Área de requerida de la PRV [in2]	37.8	Área de requerida de la PRV [in2]	38.0157178

Después de la determinación del Flux de Masa a Aliviar y el Área de Descarga Efectiva Requerida de la PRV, se considera parcialmente una aproximación a considerar el tipo de orificio que se utilizará para satisfacer los resultados obtenidos. El CASO NO. 1, El Estándar API 520 Parte 1; 2019 y Simulador RELIEF con una Sobrepresión del 10%, determinaron en

múltiples válvulas, el Área Requerida podría recalcularse como CASO NO. 2, con una sobrepresión del 16%, para conocer qué efecto tiene en el Área de Descarga Efectiva Requerida, ya sea si disminuye, aumenta o queda similar a el CASO NO. 1.

A continuación se muestra la siguiente tabla con los Resultados Obtenidos:

**TABLA 9— RESULTADOS DEL SIMULADOR RELIEF CON UNA SOBREPRESIÓN DEL 16%**

Diseño de PRV Válvula de Seguridad-Alivio	
Resultados	
Simulador RELIEF	
Caudal Másico Total Líquido/Vapor-Gas = [lbm/h]	477,340
Presión Crítica (Pc) = [psia]	55.334133
Contrapresión aguas abajo (Pa) = [psia]	29.7
Relación de Presión Crítica (nc)	0.656395409
Tipo de Flujo	CRÍTICO
Flux de Masa (G) = [lbm/s ft2]	603.9245984
Área requerida de la PRV = [in2]	37.19513807

CASO NO. 1 (Simulador RELEIF y Estándar API 520 Parte 1; 2019) y CASO NO. 2 (Simulador RELEIF), no presentan una variación significativa y se expresa en la siguiente

**TABLA 10— COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Diseño de PRV Válvula de Seguridad-Alivio	
Comparación de Resultados	
CASO NO. 1	CASO NO. 2
Simulador RELEIF	Simulador RELEIF
Sobrepresión 10%	Sobrepresión 16%
Flux de Masa [lbm/s ft2] = Variación de 13.0358786	
Área Requerida de la PRV [in2] = Variación de 0.82057973	

Simulador RELEIF, al determinar estos resultados con una Sobrepresión del 16%, podemos concluir que no representa una variación significativa a comparación del CASO NO. 1, por lo tanto CASO NO. 1 y CASO NO. 2 representan parámetros de diseño teórico de dimensionamiento de PRV seguros y sin diferencia cuantitativa riesgosa.

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSIONES, ÁREAS DE OPORTUNIDAD Y RECOMENDACIONES



## **7.1—CONCLUSIONES**

### **7.1.1—CONCLUSIÓN GENERAL**

- a) Esta Tesis presenta el desarrollo estructurado de uso del Simulador RELIEF, dicho software es para el Dimensionamiento de Válvulas de Alivio de Presión, enfocándose solo en Válvulas de Seguridad-Alivio, dichas válvulas son para flujo a dos fases, Líquidos y Vapores. Explicando las consideraciones del programa en los anteriores capítulos, RELIEF cuenta con el soporte teórico, técnico, y la amplia disponibilidad de Ingeniería de Diseño de Dispositivos de Alivio de Presión ya que cuenta con programación vinculada con el Estándar API 520 Parte 1; 2019, (Instituto Americano del Petróleo por sus siglas en Ingles); y la Norma Oficial Mexicana (NOM-093-SCFI-1994; Válvulas de Relevo de Presión (Seguridad, Seguridad y Alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce).

### **7.1.2 —CONCLUSIONES PARTICULARES**

- 1) La información sobre los Dispositivos de Alivio de Presión se debe considerar minuciosa por lo que cada Diseño, Instalación o Recomendación se deberá sustentar por documentos, literatura, grupos de Ingenieros Especializados en el tema y por un Análisis de Ingeniería de Diseño calificado
- 2) RELIEF cuenta con sustento Teórico calificado ya que parte de su programación es por el Estándar API 520 Parte 1; 2019, (Instituto Americano del Petróleo por sus siglas en Ingles); y la Norma Oficial Mexicana (NOM-093-SCFI-1994; Válvulas de Relevo de Presión (Seguridad, Seguridad y Alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce)
- 3) RELIEF es exclusivo para Válvulas de Seguridad-Alivio, dichos instrumentos son para servicio de líquido y vapor
- 4) El programa cuenta con una fácil manipulación
- 5) Los parámetros que solicita RELIEF no son de difícil accesibilidad
- 6) El método Omega ( $\omega$ ) se puede utilizar para el dimensionamiento de PRV que maneje flujo con o sin disco de ruptura
- 7) Es apropiado para fluidos tanto por encima como por debajo del punto crítico termodinámico
- 8) Los resultados de verificación y validación, son indicadores para fines prácticos, todos los algoritmos cuentan con una margen de error al realizar la validación, por lo que el margen de error es considerable

- 9) Este simulador es excelente para el inicio para todo aquel Ingeniero que desea entrar en el campo de diseño de Válvulas de Alivio de Presión
- 10) Esta tesis solo abarca Válvulas de Alivio de Presión que trabajan en conjunto fluidos compresibles e incompresibles, flujo a dos fases. Nombradas Válvulas de Seguridad-Alivio; este tipo de dispositivos tienen en su diseño la estructura conjunta de una Válvula de Alivio de Presión para Líquidos y Vapores.

## **7.2 —ÁREAS DE OPORTUNIDAD**

- 1) Analizar y tener orientación en el diseño de instrumentos de alivio de presión para procesos petroleros
- 2) Incrementar la programación con algoritmos de otras fuentes pero que se encuentren dentro de las regulaciones reconocidas internacionales
- 3) Incluir en el programa graficas del comportamiento de la PRV, tanto para las presiones, temperaturas, flujos, y tiempo
- 4) Agregar una simulación grafica donde se observe la apertura, flujo a aliviar y el cierre de la misma, contemplando como una especie de video.

## **7.3— RECOMENDACIONES**

- 1) Contar con toda la documentación como DFP (Diagramas de Flujo de Procesos), DTI (Diagramas de Tubería e Instrumentación), Hojas Técnicas de los Recipientes, contar con toda la información disponible del proceso.
- 2) Verificar los resultados de RELIEF con personal técnico-teórico para su aprobación

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Petroleum Institute API Standard 520, “Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices Parte 1-Sizing and Selection” Ninth Edition, (July 2014).
- [2] Norma Oficial Mexicana NOM NOM-093-scfl-1994, “Válvulas de relevo de presión (Seguridad, seguridad-Alivio y alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce” (1994).
- [3] L. Thompson and O. E. Buxton, Jr., “Maximum Isentropic Flow of Dry Saturated Steam through Pressure-relief Valves,” Transactions of the ASME Journal of Pressure Vessel Technology, May 1979, Vol. 101, pp. 113–117.
- [4] Guidelines for Pressure-relief and Effluent Handling Systems, AIChE, New York, NY (1998).
- [5] Ron Darby, Freeman E. Self, and Victor H. Edwards, “Properly Size Pressure-Relief Valves for Two Phase Flow,” Chemical Engineering, (June 2002), pp. 68–74.
- [6] R. Darby, “On two-phase frozen and flashing flows in safety relief valves—Recommended calculation method and the proper use of the discharge coefficient,” Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 17 (2004), pp. 255–259.
- [7] J.C. Leung, “A theory on the discharge coefficient for safety relief valve,” Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 17 (2004), pp. 301–313.
- [8] R. Diener & J. Schmidt, “Sizing of throttling device for gas/liquid two-phase flow—Part 1: Safety valves,” Process Safety Progress, Vol. 23, No. 4, 2004, pp. 335–344.
- [9] Aubry E. Shackelford, “Using the Ideal Gas Specific Heat Ratio for Relief Valve Sizing,” Chemical Engineering, 12, 110 (November 2003), pp. 54–59.
- [10] Don W. Green, James O. Maloney, and Robert H. Perry, eds., Perry’s Chemical Engineering Handbook, 7th Edition, McGraw-Hill, New York, NY (1997), (Equations 26–29) pp. 26–30.
- [11] J.C. Leung, The Omega Method for Discharge Rate Evaluation, International Symposium on Runaway Reactions and Pressure-relief Design, American Institute of Chemical Engineers, New York, pp. 367–393, 1995, ISBN No. 0-8169-0676-9.