

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO DE LA REFINERÍA DE AMUAY DEL CRP Y PROPUESTA DE MEJORAS EN SU DESEMPEÑO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Ceballos M., Pedro J.
para optar al Título de Ingeniero Químico

Caracas, noviembre de 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO DE LA REFINERÍA DE AMUAY DEL CRP Y PROPUESTA DE MEJORAS EN SU DESEMPEÑO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Andrés Rosales

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Romer Arcaya

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Ceballos M., Pedro J.
para optar al Título de Ingeniero Químico

Caracas, noviembre de 2008

Ceballos M., Pedro J.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO DE LA REFINERÍA DE AMUAY DEL CRP Y PROPUESTA DE MEJORAS EN SU DESEMPEÑO

**Tutor Académico: Prof. Andrés Rosales. Tutor Industrial: Ing. Romer Arcaya.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año
2008, 182 p.**

Palabras Claves: Sistema de alivio, Válvulas de seguridad, Contrapresión, Presión de disparo, Flujo sónico, Simulador FLARE, Simulador INPLAT

Resumen: En la evaluación realizada al sistema de alivio de gas ácido de la Refinería de Amuay se actualizó la documentación concerniente al mismo, esto involucra un sumario de las válvulas de seguridad que descargan sistema y un levantamiento en campo del sistema de alivio en forma de planos isométricos. Se especificaron las contingencias por las que se activan las válvulas de seguridad junto con sus respectivas cargas de alivio, esto facilitó la determinación de las cargas máximas que procesan los Mechurrios 2 y 3, lo cual ayudará a predecir en estudios posteriores si es factible o no la incorporación de nuevas unidades al sistema de alivio actual. Posteriormente, se construyó el modelo de simulación con ayuda del programa FLARE; para lo cual, se debió realizar previamente un diagrama de nodos del sistema de alivio y calcular las longitudes equivalentes de todos los tramos de tubería que conforman al sistema.

La simulación del sistema de alivio permitió detectar contrapresiones muy elevadas en algunas válvulas de seguridad y alertas de flujo sónico en tramos de tubería, las cuales fueron convalidadas con el empleo del simulador INPLANT en cada uno de los casos. Se establecieron propuestas destinadas a solventar todas estas situaciones de riesgo, entre las que destacan: sustitución del cabezal principal de la unidad SUAY-3 de 4" por uno de 6", eliminación de la contracción de 3x2 existente en la descarga de las válvulas de seguridad SV-15045 y SV-16041 (HDAY-3/4) y la consecuente sustitución de la tubería de 2" en la línea de descarga por una de 3"; además, del reemplazo de otras válvulas de seguridad.

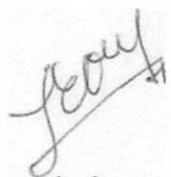
Igualmente se observó que la presión de calibración de una cantidad importante de válvulas de seguridad del sistema estudiado no es la adecuada, por lo que se recomendó una revisión de las mismas.

ACTA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Pedro J. Ceballos M., titulado:

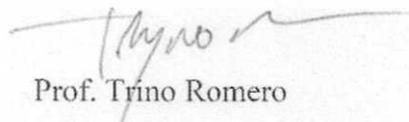
“Evaluación del sistema de alivio de gas ácido de la Refinería de Amuay del CRP y propuesta de mejoras en su desempeño”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.



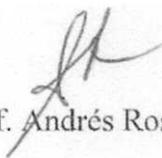
Prof. Leonardo Oropeza

Jurado



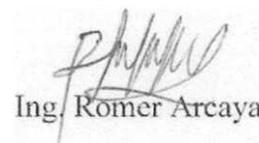
Prof. Trino Romero

Jurado



Prof. Andrés Rosales

Tutor



Ing. Romer Arcaya

Tutor



ACTA

MENCIÓN HONORÍFICA

Los abajo firmantes, miembros del Jurado Examinador del Trabajo Especial de Grado titulado **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO DE LA REFINERÍA DE AMUAY DEL CRP Y PROPUESTA DE MEJORAS EN SU DESEMPEÑO”**, presentado por el Bachiller Pedro J. Ceballos M., queremos dejar constancia del excelente nivel del trabajo realizado, ya que el mismo en cuanto a su ejecución, presentación y utilidad de los resultados, ameritó que se le asignara la calificación máxima de **VEINTE PUNTOS (20)**. Así mismo, hemos decidido por unanimidad, concederle **MENCIÓN HONORÍFICA** como un reconocimiento a la excelencia del trabajo realizado, el cual además de haber cumplido con los objetivos planteados, deja como aportes extraordinarios, un mensaje de alerta en cuanto al riesgo potencial en los sistemas de alivio cuando no son oportunamente evaluados, así como varias propuestas para reducir o eliminar dichas condiciones de riesgo y finalmente aporta una metodología clara, bien precisa y de gran utilidad para la simulación y evaluación de sistemas de alivio.

En Caracas, a los 07 días del mes de noviembre del año 2008.

Profa. Trino Romero
Jurado

Prof. Leonardo Oropeza
Jurado

Prof. Andrés Rosales
Tutor Académico

Ing. Romer Arcaya
Tutor Industrial

DEDICATORIA

A los dos seres más importantes en mi vida, mi mamá Mirvida Martínez y mi papá Pedro Ceballos, pilares fundamentales en todo lo que soy, los consejos, la preocupación, el apoyo constante durante cada instante de mi carrera y de mi vida, las palabras son pocas para expresar lo que siento.

A mis hermanos Davimir, Minerva y Mirelba, simplemente por estar allí, por ayudarme a levantar cuando estoy caído, por extenderme el brazo sin vacilar cada vez que lo necesito, por compartir conmigo esos momentos alegres y esos momentos tristes.

A todos ellos les dedico este Trabajo Especial de Grado.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, primero por permitirme formar parte de la gran familia del programa Samuel Robinson y compartir la experiencia de ser un “samuelito” junto a mis compañeros, y segundo por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta gran casa de estudios y suministrarme esos sólidos conocimientos para convertirme en un Ingeniero Químico.

A la Refinería de Amuay por brindarme la oportunidad de desarrollar mi Trabajo Especial de Grado en sus instalaciones facilitándome todas las herramientas necesarias y otorgándome esa valiosa experiencia.

A mi tutor industrial Romer Arcaya, cuyas palabras de aliento y constante motivación provocaron que el trabajo siempre tuviera el rumbo adecuado, más que un tutor, un amigo.

A mi tutor académico Andrés Rosales por el tiempo invertido, tiempo que sin lugar a dudas fue bastante valioso.

Al Prof. Humberto Kum, por todos esos conocimientos, por guiarme y orientarme en los últimos años de mi carrera, y por la preocupación mostrada desde el principio hasta el fin de este trabajo.

A los Profesores Luis Navarro, José Moreno, José Fernández, Leonardo Oropeza, Anubis Pérez y Trino Romero quienes me impartieron sus sólidos conocimientos y me dieron lecciones de vida para ser siempre mejor persona.

A mi hermano Aníbal Rivera, mi fiel amigo desde la infancia, compañero de estudio, de juegos, de fiestas y siempre mi punto de apoyo incondicional.

A mis amigos Héctor, José y Livia, por estar allí desde el principio de todo, por el optimismo y por edificar en mí esa parte tan necesaria que hace sentirse siempre bien.

A mis nuevos amigos Angie, Caridad, Fabiola, Rubén, Freddy, Nella, Betsabe, Lismeira, Alberto, Willian y Angel por brindarme su amistad y por compartir esos cortos pero gratos momentos de mi estadía en la refinería, y que ciertamente continuarán.

A los Ingenieros Hugo Lujano, Iolanda Da Corte y Thais Acosta que siempre tuvieron esa disposición para ayudarme durante y después del desarrollo de mi trabajo.

Por último, aunque más importantes, agradezco a mis padres Mirvida y Pedro y mis hermanos Davimir, Mirelba y Mirelba, por todo el apoyo desde el principio, por la comprensión y por estar siempre allí cuando los necesito, definitivamente sin ellos no se hubiesen materializado parte de mis sueños.

A todos aquellos que no menciono acá porque se me escapan de la memoria pero que contribuyeron conmigo para alcanzar tan apreciada meta.

GRACIAS!!

TABLA DE CONTENIDO**ÍNDICE GENERAL**

	<i>Pág.</i>
<i>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</i>	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. OBJETIVOS	7
1.1.1. Objetivo general	7
1.1.2. Objetivos específicos	7
1.3. ANTECEDENTES	8
<i>CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</i>	10
2.1. FLUJO DE GASES EN TUBERÍAS	10
2.1.1. Principios de cálculos de caída de presión	11
2.1.2. Flujo crítico (sónico)	12
2.1.3. Longitud equivalente de tubería	13
2.2. SISTEMAS DE ALIVIO	14
2.2.1. Diseño de sistemas de alivio	15
2.3. VÁLVULAS DE SEGURIDAD	22
2.3.1. Contrapresión	24
2.3.2. Golpeteo de las válvulas de alivio de presión	25
2.3.3. Tipos de válvulas de seguridad	27
2.3.3.1. Válvulas de seguridad convencionales	27
2.3.3.2. Válvulas de seguridad balanceadas	28
2.3.3.3. Válvulas de seguridad operadas por piloto	30
2.3.4. Dimensionamiento de válvulas de alivio de presión	32
2.3.4.1. Dimensionamiento para flujo crítico	33
2.3.4.2. Dimensionamiento para flujo subcrítico	34

	<i>Pág.</i>
2.3.5. Dimensionamiento de válvulas de alivio de presión	32
2.3.5.1. Dimensionamiento para flujo crítico	33
2.3.5.2. Dimensionamiento para flujo subcrítico	34
2.4. CONTINGENCIAS	35
2.4.1. Sobrepresión	36
2.4.2. Origen de la contingencia	37
2.4.2.1. Falla de los servicios industriales	37
2.4.2.2. Mal funcionamiento de los equipos	38
2.4.2.3. Errores del operador	38
2.4.3. Determinación de las cargas de alivio	38
2.4.3.1. Incendio	39
2.4.3.2. Falla de control automático	43
2.4.3.3. Falla de enfriamiento en condensadores	45
2.4.3.4. Salida bloqueada	45
2.4.3.5. Ruptura de tubos en intercambiadores de calor	47
2.5. MECHURRIOS	49
2.5.1. Tipos de mechurrios	50
2.5.1.1. Mechurrios elevados	50
2.5.1.2. Mechurrios a nivel del suelo	51
2.5.1.3. Mechurrios tipo pozos quemadores	52
2.5.2. Combustión de corrientes de H ₂ S	52
2.5.3. Dimensionamiento de la boquilla del mechurrio	54
2.6. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ALIVIO	55
2.6.1. Descripción del programa FLARE	55
2.6.2. Justificación del uso del simulador FLARE	57
2.7. INTRODUCCIÓN AL DIBUJO ISOMÉTRICO	58

	<i>Pág.</i>
<i>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA GENERAL</i>	59
3.1. ACTUALIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	59
3.2. ESPECIFICACIÓN DE CONTINGENCIAS, CARGAS DE ALIVIO Y CARGAS MÁXIMAS	61
3.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	62
3.4. ESTIMACIÓN DE CONTRAPRESIONES	63
3.5. EVALUACIÓN DE FLUJO SÓNICO EN EL SISTEMA DE ALIVIO	63
3.6. DETERMINACIÓN DE OPCIONES DE MEJORA	63
<i>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	64
4.1. ACTUALIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	64
4.1.1. Hojas de especificación de válvulas de seguridad	64
4.1.2. Especificaciones de las válvulas de seguridad	65
4.1.3. Sumario de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio de gas ácido	67
4.1.4. Elaboración de diagrama simplificado del sistema de alivio y planos isométricos	67
4.2. ESPECIFICACIÓN DE CONTINGENCIAS, CARGAS DE ALIVIO Y CARGAS MÁXIMAS	70
4.2.1. Cargas de alivio	70
4.2.2. Cargas máximas que procesa el Mechurrio 3	71
4.2.3. Cargas máximas que procesa el Mechurrio 2	74
4.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	77
4.3.1. Elaboración de diagrama de nodos	77
4.3.2. Cálculo de las longitudes reales y equivalentes	77
4.3.3. Modelo de simulación del sistema de alivio de gas ácido	78
4.4. ESTIMACIÓN DE CONTRAPRESIONES	80
4.4.1. Casos críticos de contrapresión	81
4.4.2. Comparación con resultados del simulador INPLANT	83

	<i>Pág.</i>
4.5. EVALUACIÓN DE FLUJO SÓNICO EN EL SISTEMA DE ALIVIO	85
4.6. DETERMINACIÓN DE OPCIONES DE MEJORA	88
4.6.1. Propuesta para disminuir las altas contrapresiones en SUAY-3	88
4.6.2. Propuesta para solventar el problema en la descarga de las válvulas SV-15045 de HDAY-3 y SV-16041 de HDAY-4	89
4.6.3. Propuestas para solventar el resto de los problemas de contrapresión y velocidad sónica	92
4.6.4. Presiones de calibración	95
 <i>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	 100
5.1. CONCLUSIONES	100
5.2. RECOMENDACIONES	103
 <i>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	 104
 <i>CAPÍTULO VII. APÉNDICES</i>	 107
Apéndice 1. Listado de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio de gas ácido de la refinería	107
Apéndice 2. Cargas de alivio que procesan las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido	112
Apéndice 3. Algunos de los planos isométricos dibujados	117
Apéndice 4. Diagramas de nodos	123
Apéndice 5. Estimación del coeficiente de resistencia “K”	138
Apéndice 6. Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido	150
Apéndice 7. Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad	158
Apéndice 8. Comparación de la presión de calibración calculada con respecto a la actual	171

	<i>Pág.</i>
<i>CAPÍTULO VIII. ANEXOS</i>	175
Anexo 1. Partes principales de las válvulas de seguridad	175
Anexo 2. Caídas de presión en boquillas de mechurrios John Zink	178
Anexo 3. Características de interés de los Mechurrios 2 y 3 de la Refinería de Amuay	179
Anexo 4. Áreas de orificio efectivas en válvulas de seguridad	175
Anexo 5. Factor multiplicador de la presión de ajuste para la estimación de la presión de calibración a temperatura ambiente	181

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 2.1 Componentes esenciales de un sistema de alivio</i>	15
<i>Figura 2.2 Diversidad de válvulas de seguridad en el mercado</i>	23
<i>Figura 2.3 Presión de disparo y contrapresión</i>	25
<i>Figura 2.4 Componentes esenciales de un sistema de alivio</i>	28
<i>Figura 2.5 Efecto de la contrapresión en la válvula de seguridad tipo convencional</i>	29
<i>Figura 2.6 Factor de dimensionamiento para contrapresión constante o variable (K_b) para válvulas de alivio de seguridad de fuelle balanceado (vapores y gases)</i>	34
<i>Figura 2.7 Superficie mojada en el cálculo de cargas de alivio en caso de incendio</i>	42
<i>Figura 2.8 Representación gráfica de una falla de válvula de control</i>	44
<i>Figura 2.9 Representación de los flujos existentes en el caso de una salida bloqueada</i>	45
<i>Figura 2.10 Ruptura de tubos en un intercambiador de calor</i>	47
<i>Figura 2.11 Tipos más comunes de mechorrios existentes en la actualidad</i>	51
<i>Figura 2.12 Representación de los nodos para el empleo del programa FLARE</i>	56
<i>Figura 3.1 Diagrama de la metodología planteada</i>	59
<i>Figura 4.1 Ejemplificación de una placa de una válvula de seguridad en el campo</i>	66

	Pág.
<i>Figura 4.2 Diagrama simplificado de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio vía Mechurrios 2 y 3 de la Refinería de Amuay</i>	69
<i>Figura 4.3 Simulación de la contingencia de incendio en la unidad de proceso SUAY-3 con el simulador INPLANT</i>	83
<i>Figura 4.4 Configuración actual y cambio propuesto de la descarga de las válvulas de seguridad de la unidad SUAY-3</i>	88
<i>Figura 4.5 Configuración propuesta de las descargas las válvulas SV-15045 y SV-16041</i>	90
<i>Figura 4.6 Configuración propuesta de las descargas las válvulas SV-15004 y SV-16004</i>	93
<i>Figura 4.7 Configuración actual de las descargas las válvulas SV-15033, SV-16028, SV-15042 y SV-16033</i>	94
<i>Figura 4.8 Efecto de la temperatura en el factor corrector de la presión de calibración</i>	98
<i>Figura 8.1 Partes principales de una válvula de seguridad tipo convencional típica</i>	175
<i>Figura 8.2 Partes principales de una válvula de seguridad tipo balanceada típica</i>	176
<i>Figura 8.3 Partes principales de una válvula de seguridad operada por piloto típica</i>	177
<i>Figura 8.4 Caídas de presión en boquillas de mechurrios John Zink</i>	178

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 4.1 Válvulas de seguridad con ausencia de hoja de especificación</i>	65
<i>Tabla 4.2 Válvulas de seguridad que presentan indicación incorrecta respecto al equipo protegido</i>	66
<i>Tabla 4.3 Contingencias con las cargas totales simultáneas más altas, cuyas válvulas descargan al Mechurrio 3</i>	72
<i>Tabla 4.4 Capacidad usada por el Mechurrio 3, durante las máximas contingencias</i>	73
<i>Tabla 4.5 Relación de las velocidades desarrolladas por los flujos máximos con respecto al flujo sónico en la boquilla del Mechurrio 3</i>	74
<i>Tabla 4.6 Contingencias con las cargas totales simultáneas más altas, cuyas válvulas descargan al Mechurrio 2</i>	75
<i>Tabla 4.7 Capacidad usada por el Mechurrio 2, durante las máximas contingencias</i>	75
<i>Tabla 4.8 Relación de las velocidades desarrolladas por los flujos máximos con respecto al flujo sónico en la boquilla del Mechurrio 2</i>	76
<i>Tabla 4.9 Casos críticos de contrapresión acumulada</i>	81
<i>Tabla 4.10 Comparación de los resultados obtenidos en el programa FLARE con los obtenidos en el simulador INPLANT</i>	84
<i>Tabla 4.11 Tramos con alerta de flujo de sónico al momento de la descarga</i>	85
<i>Tabla 4.12 Resultados de la simulación en INPLANT para los casos con riesgo de flujo sónico</i>	87
<i>Tabla 4.13 Contrapresión en las válvulas de seguridad de SUAY-3 con el cambio propuesto</i>	89

	Pág.
<i>Tabla 4.14</i> <i>Contrapresión en las válvulas de seguridad SV-15045 y SV-16041 con el cambio propuesto</i>	90
<i>Tabla 4.15</i> <i>Resultados obtenidos con respecto a velocidad sónica en la descarga de las válvulas de seguridad SV-15045 y SV-16041 con el cambio propuesto</i>	91
<i>Tabla 4.16</i> <i>Cambio propuesto para las válvulas de tamaño "P" que presentan riesgo de flujo sónico en la tubería de descarga</i>	94
<i>Tabla 4.17</i> <i>Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad con la aplicación de las distintas recomendaciones</i>	95
<i>Tabla 4.18</i> <i>Casos críticos de desviación de la presión de calibración actual con respecto a la calculada</i>	99
<i>Tabla 7.1</i> <i>Listado de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio de gas ácido de la refinería</i>	108
<i>Tabla 7.2</i> <i>Cargas de alivio que procesan las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido</i>	113
<i>Tabla 7.3</i> <i>Factores de fricción para tuberías comerciales, nuevas, de acero, con flujo en la zona total de turbulencia (Crane)</i>	139
<i>Tabla 7.4</i> <i>Ecuaciones empleadas para el cálculo de coeficientes de resistencia "K"</i>	140
<i>Tabla 7.5</i> <i>Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido</i>	141
<i>Tabla 7.6</i> <i>Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido</i>	151
<i>Tabla 7.7</i> <i>Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 3 se encuentra en operación</i>	159
<i>Tabla 7.8</i> <i>Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 2 se encuentra en operación</i>	162

	Pág.
<i>Tabla 7.9 Comparación de las contrapresiones estimadas de acuerdo al mechurrio en operación</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 7.10 Evaluación de la relación contrapresión/presión de disparo en las válvulas de seguridad</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 7.11 Comparación de la presión de calibración calculada con respecto a la actual</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 8.1 Características de interés de los Mechurrios 2 y 3 de la Refinería de Amuay</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 8.2 Áreas de orificio efectivas en válvulas de seguridad</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 8.3 Factor multiplicador de la presión de ajuste para la estimación de la presión de calibración a temperatura ambiente para las válvulas Consolidated® de la serie 1900 y serie 19000</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 8.4 Factor multiplicador de la presión de ajuste para la estimación de la presión de calibración a temperatura ambiente para las válvulas Anderson Greenwood® modelo 727 POSRV</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 8.5 Factor multiplicador de la presión de ajuste para la estimación de la presión de calibración a temperatura para las válvulas Crosby® estilos JOS-E, JBS-E, JLT*-JBS-E, JLT*-JOS-E</i>	<i>182</i>

NOTACIÓN DE VARIABLES

A	Superficie o área mojada [pie ²]
$A_{orificio}$	Área efectiva del orificio [pulg ²]
AP	Lado de alta presión
BP	Lado de baja presión
C_p	Capacidad específica a P_{Alivio} [Btu/(lb-°F)]
CP	Contrapresión total (superimpuesta más acumulada) [psia]
D	Diámetro interno de la tubería [pie]
D_L	Diámetro interno de la tubería ocupado por líquido [pie]
D_H	Diámetro del recipiente horizontal [pie]
D_V	Diámetro del recipiente vertical [pie]
D_V	Diámetro interno de la tubería ocupado por vapor [pie]
f	Factor de fricción de Fanning [Adim.]
F	Factor ambiental [Adim.]
g	Aceleración de la gravedad [pie/s ²]
G	Velocidad másica [lbm/s.pie ²]
k	Relación de calores específicos, C_p/C_v [Adim.]
K	Suma de los coeficientes de resistencia de todos los accesorios [Adim.]
K_b	Factor de corrección para la contrapresión. [Adim.]
K_d	Coefficiente de descarga del orificio según lo recomienda el fabricante [Adim.]
L	longitud del recipiente horizontal [pie]
L_{eq}	Longitud Equivalente de todos los accesorios [pie]
L_t	Longitud de la línea [pie]
M	Peso Molecular del gas [lb/lbmol]
N_{LL}	Nivel de líquido por debajo de 25 pies [pie]
P_1	Presión corriente arriba [psia]
P_2	Presión corriente abajo [psia]

P_c	Presión crítica [psia]
P_{ent}	Presión de entrada a la brida a las condiciones de alivio (incluyendo la acumulación) [psia]
P_{SET}	Presión de disparo de la válvula de alivio [psia]
P_x	Presión crítica en la válvula de seguridad [psia]
Q	Absorción de calor total (entrada) por la superficie humedecida [Btu/h]
Q_m	Máximo calor transferido durante el alivio [Btu/hr]
R	Constante individual del los gases, 1545/M
SG	Gravedad específica del líquido relativa al agua a 600 °F
T	Temperatura del gas [°R]
T_1	Temperatura de operación normal [°F]
T_2	Temperatura de alivio [°F]
T_{ent}	Temperatura de entrada a las condiciones de alivio [°R]
v	Volumen específico [pie ³ /h]
V_1	Volumen específico a la condiciones de entrada [pie ³ /lb]
V_s	Velocidad sónica [pie/s]
W	Flujo másico, carga de alivio [lb/h]
W_{CV}	Flujo máximo a través de la válvula de control [lb/h]
W_L	Flujo de líquido a través de una sección transversal [lb/h]
W_V	Flujo de vapor a través de una sección transversal [lb/h]
X	Fracción de vapor después de la expansión hasta P_2 (se obtiene de la simulación) [Adim.]
Z	Factor de compresibilidad [Adim.]
β	Coefficiente cúbico de expansión térmica promedio entre T_1 y T_2 [l/°F]
ΔP	$P_1 - P_2$ [psi]
λ	Calor latente del líquido [Btu/b]
ρ	Densidad a P_2 [lb/pie ³]
ρ_L	Densidad del líquido [lb/pie ³]
ρ_V	Densidad del vapor [lb/pie ³]

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

PDVSA es la tercera empresa de refinación en el mundo, tiene una capacidad de procesamiento de petróleo de 3.300 MBD (millones de barriles por día). Ella realiza sus operaciones de procesamiento del crudo a través de 22 refinerías: tres complejos en Venezuela, y diecinueve en el resto del mundo. El Centro de Refinación de Paraguaná (CRP) es el centro refinador más grande que existe, proviene de la fusión de tres importantes refinerías: Amuay, Cardón y Bajo Grande, posee una capacidad de refinación total de 956 MBD, de las cuales 635 son procesados por Amuay, 305 por Cardón y el resto por Bajo Grande. Esto representa el 71 % de la capacidad de refinación del país y el 30% del circuito refinador que la casa matriz maneja en el mundo.

La refinación es el proceso que se encarga de la transformación de los hidrocarburos en productos derivados. Del petróleo se obtienen muchos productos, desde gases y líquidos sumamente volátiles como la gasolina, hasta fluidos muy espesos como el asfalto y aun sólidos como la parafina o ceras. En líneas generales, los derivados básicos del petróleo son: gases, gasolina de motor, gasolina de aviación, kerosene, gasoil, diesel, solventes, bases lubricantes, parafina, combustible pesado (fuel oil) y asfalto.

En la refinería, como en la mayoría de las industrias, existen elementos de seguridad cuya función consiste en proteger a los distintos equipos (tambores, columnas, intercambiadores de calor, bombas, compresores, etc.) ante un elevado aumento de presión, generalmente debido a una falla en el proceso, éstos dispositivos son conocidos como *válvulas de seguridad*, y actúan liberando el fluido (líquido o gas) que circula o se almacena en el equipo protegido.

Dependiendo de las características del flujo liberado por las válvulas de seguridad, éste puede ser descargado a la atmósfera o dirigido a través de un sistema

recolector de descargas (*cabezales de mechurrio*), hacia un tambor de sello donde el gas es despojado de las pequeñas cantidades de líquido que pudieran estar presente, y finalmente es quemado en un mechurrio, que no es más que una enorme estructura vertical elevada con una llama en el tope. El mechurrio provee un medio de disposición seguro de las corrientes de vapores provenientes de las unidades de proceso, quemándolos bajo condiciones controladas de modo que los equipos adyacentes o el personal no estén expuesto a peligro.

La estructura integrada por las válvulas de seguridad, las redes de tuberías de descarga, los cabezales, el tambor de purga y el mechurrio, es lo que se conoce como *sistema de alivio*, el cual es usado para proteger las unidades contra una presurización excesiva. El propósito de estos sistemas es lograr el manejo seguro de los gases descargados por las válvulas de seguridad, de manera que puedan ser dirigidas apropiadamente a un mechurrio.

Para evaluar un sistema de alivio, se deben tomar en consideración muchos parámetros, entre ellos, existen dos muy importantes que podrían ocasionar inconvenientes una vez que la válvula está descargando. Ellos son, primero, una elevada contrapresión (presión en el lado de la salida de una válvula de seguridad) en algunas de las válvulas de seguridad que integran el sistema de alivio y segundo, presencia de flujo sónico en algún tramo de tubería del sistema.

Existen límites para los valores de la contrapresión, dependiendo del tipo de válvula, si estos valores son excedidos pueden ocasionar daño en la válvula o los equipos, propiciando un ambiente inseguro en las cercanías.

Por otro lado, la presencia de un flujo sónico en una tubería causa una vibración excesiva en la misma, ocasionando daños mecánicos y posibles roturas en la tubería o en las uniones (bridas), por ende es importante alejarse de este valor lo mayor posible.

En caso de que alguno de estos problemas surja durante un estudio a un sistema de alivio, deben tomarse las medidas necesarias para que sea corregido de manera que no desemboque en problemas mayores a futuros.

El propósito de este Trabajo Especial de Grado es evaluar el sistema de alivio de gas ácido de la Refinería de Amuay con el objeto de actualizar la documentación existente y de proponer mejoras al sistema que fortalezcan la seguridad en la planta, esto involucraría la corrección, en caso de presentarse, de los problemas anteriormente descritos.

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los procesos en la Refinería de Amuay, se dividen en cinco (5) grandes áreas: Conversión Media, Conversión Profunda, Destilación y Lubricantes, Instalaciones Auxiliares y Suministros. La mayoría de las unidades de proceso pertenecientes al área de Conversión Media procesan sustancias que tienen altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2), los gases que contienen estas impurezas son llamados gases ácidos y necesitan ser tratados de una manera especial tomando en consideración los problemas de toxicidad (H_2S) y corrosión que involucran.

Antes de 1997, la Refinería de Amuay, operaba con cuatro (4) mechurrios y por razones técnicas se desmanteló el Mechurrio 1 y en 1998 se puso en servicio un nuevo mechurrio, el Mechurrio 5, por lo que actualmente el sistema de alivio del CRP-Amuay opera nuevamente con cuatro (4) mechurrios para la quema de sus efluentes hidrocarburos, éstos son: Mechurrio 2, normalmente fuera de servicio ya que funciona como respaldo de los Mechurrios 3 y 5; Mechurrio 3, que recibe casi todas las descargas del área de Conversión Media y una pequeña descarga de las otras áreas; y los Mechurrios 4 y 5, para el restante de Conversión Media, para las descargas de las áreas de Conversión Profunda y del área de Destilación y Lubricantes. Asimismo, esta refinería cuenta con dos sistemas de alivio, el primero, especial para gases ácidos, encargado de llevar los efluentes a los mechurrios 2 y 3 y el segundo que descarga directamente a los mechurrios 4 y 5.

En síntesis, las unidades de proceso que descargan sus efluentes actualmente al sistema de alivio de gas ácido de la refinería son:

- Hidrodesulfuradoras 2, 3 y 4 (HDAY-2/3/4)
- Recuperadora de Azufre 3 (SUAY-3)
- Despojadoras de Aguas Agrias 1 y 2 (SWAY-1/2)
- Regeneradoras de Mea 1 y 2 (FMAY 1/2)
- Fraccionadoras de Naftas 3 y 4 (NFAY-3/4)
- Unidad MEROX del Complejo HDS (MXHD)

- Destilación Atmosférica 5 (PSAY-5)
- Alquilación (ALAY). El sistema de alivio ácido solo recibe la descarga de una válvula perteneciente a ésta planta, cuando el Mechurrio 5 está fuera de servicio.

En la Refinería de Amuay se están desarrollando varios proyectos de adecuación y ampliación, por lo que, es necesario disponer de una evaluación totalmente actualizada de su sistema de alivio, esta evaluación permitirá establecer, en estudios posteriores, si es posible la inclusión de estos proyectos dentro del actual sistema.

En los últimos años el sistema de alivio de la Refinería de Amuay ha sufrido múltiples cambios, tales como modificaciones en las unidades de proceso, modificación de las condiciones operacionales y variación de las composiciones y flujos de las corrientes, esto impacta directamente sobre los flujos de descarga de las válvulas de seguridad (cargas de alivio) y la presión a la cual ésta debe abrir (presión de disparo). Estas nuevas condiciones no han sido reflejadas en un documento que las agrupe, por lo que es necesario disponer de una información actualizada sobre los flujos que se descargan al sistema de alivio y así garantizar la seguridad del personal y la integridad de los equipos.

En tal sentido, se hace necesaria una reevaluación de las contingencias por las que se pueden activar las válvulas de seguridad y la determinación de sus respectivas cargas de alivio que se ajusten a la situación actual en la refinería, tomando en consideración todos los cambios realizados en el sistema de alivio. Se requiere, además, la construcción de un modelo de simulación mediante una herramienta computacional adecuada (FLARE), que permita estimar, mediante su ejecución, la contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad y determinar si las mismas son las más adecuadas para el servicio que realizan. De igual manera, este modelo de simulación debe permitir la evaluación de riesgos como flujo sónico en todos los tramos de tubería del sistema de alivio.

Se precisa además, la estimación de las cargas máximas que procesan actualmente los Mechurrios 2 y 3 de la refinería, lo cual permitirá saber que tan cercano se está del valor de diseño para así tomar las respectivas medidas preventivas

y además tener una referencia para los próximos estudios de adecuación y ampliación en la refinería.

En función de la situación planteada, ha surgido la necesidad de llevar a cabo el presente Trabajo Especial de Grado, con el cual se evaluará el actual sistema de alivio de la refinería de Amuay, lo cual permitirá emitir las recomendaciones destinadas a un mejor desempeño del mismo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el sistema de alivio de gas ácido de la Refinería de Amuay perteneciente al CRP, proponiendo mejoras en su desempeño.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Actualizar la documentación existente sobre el sistema de alivio de gas ácido de la refinería.
- 2) Especificar las contingencias por las que se pueden activar las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio junto con sus respectivas cargas de alivio y las cargas máximas que procesan actualmente los mechurrios 2 y 3 de la refinería.
- 3) Construir un modelo de simulación del sistema de alivio de gas ácido de la Refinería de Amuay mediante el programa FLARE.
- 4) Estimar la contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad para las contingencias consideradas determinando si las mismas son las más adecuadas para el servicio.
- 5) Evaluar la presencia de flujo sónico en todos los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido.
- 6) Proponer, en términos de importancia y seguridad, las acciones futuras de modificación y/o reemplazo de tuberías y/o válvulas de seguridad que permitan mejorar el desempeño del sistema de alivio de gas ácido de la refinería.

1.3. ANTECEDENTES

El sistema de alivio de una planta provee seguridad al personal e integridad a los equipos, por tal sentido debe ser constantemente estudiado y evaluado para garantizar confianza en todo momento. Cada industria debe poseer una amplia gama de documentos internos referentes a los estudios realizados. En la Refinería de Amuay, estos datan desde su inicio de operación, sin embargo, se destacan acá los más recientes por aproximarse a lo que se tiene actualmente en la refinería.

La sección de combustibles del área de Ingeniería de Procesos (1992), emite el documento “Válvulas de Seguridad a los Mechurrios Nro 2 y Nro 3” (GIP-92-0104), donde se presentan los resultados de un estudio acerca de las condiciones, para ese momento, de las válvulas que descargan a los mechurrios 2 y 3, el estudio finaliza en un sumario de dichas válvulas con sus respectivas cargas de diseño, puntos de ajuste (presión de disparo), tipo y tamaño.

Rudi Diener (1993), redacta el documento “Safety/Flare Questions: HDAY-2/3/4” (93RD-022), con el que se buscaba aclarar varias interrogantes ante la sección de combustibles referentes a datos de proceso de los equipos pertenecientes a las plantas Hidrodesulfuradoras 2, 3 y 4 de la refinería, en la misma, se detalla el procedimiento así como las consideraciones que se realizaron para la determinación de las cargas de alivio de las válvulas de seguridad involucradas.

En 1999 Horacio Barajas recopila toda la información de proceso de las válvulas de seguridad que para ese momento descargaban a todo el sistema de alivio de la refinería (ambos cabezales de mechurrio) y se plasma en el documento técnico “Lista de Válvulas de Seguridad que descargan a los sistemas de alivio de CRP-Amuay” (AMGIP-99-2640). Dicha información incluye valores de carga de alivio de las contingencias por las que se activan las válvulas de seguridad, así como las condiciones de presión y temperatura en la descarga.

El programa FLARE, propiedad de Shell, es empleado por el CRP desde antes de la integración de las refinerías, para la evaluación de sus sistemas de alivio. En el año 2001 (Horacio Barajas), se convalida los resultados obtenidos a partir del FLARE

con cálculos manuales y con otros programas, indicando que es el programa más adecuado para la evaluación de un sistema de alivio dada la ventaja que posee de poder simular las contingencias en una misma corrida, este estudio es plasmado en el memorándum “Simulación del Sistema de Alivio del Complejo HDS del CRP-Amuay con el programa FLARE” (AMGIP-01-1631). En este estudio se concluye que las válvulas operan adecuadamente y no existen mayores percances en el sistema de alivio.

Cabe destacar que en este Trabajo Especial de Grado, la evaluación del sistema de alivio permitirá la determinación de las cargas de alivio en las válvulas de seguridad, con lo que se elaborará un sumario actualizado de las mismas, indicando además, presión de disparo, tamaño, y condiciones de alivio (temperatura y peso molecular). También se estimarán las contrapresiones actuales en las válvulas, verificando que estén en el rango adecuado, y se evaluará la existencia de flujo sónico en algún tramo de tubería, en esta evaluación se empleará, igualmente, el programa FLARE. Adicionalmente, se elaborará un listado de propuestas destinadas a mejorar el desempeño del sistema ante una determinada eventualidad.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. FLUJO DE GASES EN TUBERÍAS

El flujo de gases en tuberías es más complejo que el de líquido debido a la dependencia del volumen específico con los cambios en la presión a lo largo de la línea. Si esta variación es grande, tanto la velocidad como la densidad cambiarán significativamente es decir, se necesita un conocimiento preciso de la relación P-V-T (presión-volumen-temperatura) del gas para poder aplicar la ecuación de Bernoulli en forma diferencial, y el balance de energía en estado estacionario (*Crane, 1989*).

Es importante puntualizar que el comportamiento de la línea (la caída de presión) dependerá del tipo de flujo existente en dicha línea. Los extremos usuales de flujo son:

- a) Adiabático ($PV^k = \text{constante}$), el cual es el caso de líneas cortas aisladas en refinerías y plantas químicas, donde el calor transferido hacia o desde la línea es despreciable.
- b) Isotérmico ($PV = \text{constante}$) se presenta en líneas largas sin aislar como las de transmisión de gas natural. A menudo se asume este tipo de flujo, parte por conveniencia pero en realidad, es por que es lo más cercano al comportamiento real.
- c) Politrópico ($PV^n = \text{constante}$) es una condición entre adiabático e isotérmico.

Cuando la naturaleza del flujo es desconocida los procedimientos PDVSA para dimensionamiento de líneas recomiendan asumir flujo isotérmico con la finalidad de obtener resultados mas conservadores. Sin embargo las prácticas de diseño consideran ambos casos, debido a que hay situaciones donde se requiere un diseño más preciso de flujo adiabático.

2.1.1. PRINCIPIOS DE CÁLCULOS DE CAÍDA DE PRESIÓN

Las ecuaciones básicas para calcular la caída de presión para flujo de gases a través de tuberías y accesorios se obtienen considerando el balance de energía para estado estacionario (*CIED, 1997*):

$$778 \frac{g_c}{g} E + \Delta h + 144 \frac{g_c}{g} \Delta(Pv) + \frac{\Delta(V^2)}{g} = 778 \frac{g_c}{g} Q - \frac{g_c}{g} W_s \quad (1)$$

y la forma diferencial del Teorema de Bernoulli:

$$dz + 144 \frac{g_c}{g} v dP + \frac{V dV}{g} = \frac{g_c}{g} dF - \frac{g_c}{g} dW_s \quad (2)$$

Donde:

E : Energía interna [BTU/lbm]

F : Pérdida de energía por fricción [pie lbf/lbm]

g : Aceleración de la gravedad [pie/s²]

P : Presión [lbf/pulg²]

Q : Calor suministrado [BTU/lbm]

V : Velocidad del fluido, promedio a lo largo de la sección transversal [pie/s]

v : Volumen específico [pie³/lbm]

W_s : Trabajo de eje [pie lbf/pie lbm]

h : Altura [pie]

g_c : Constante dimensional 32.174 pie.lbm/lbf.s²

La mayoría de los métodos de diseño para el tratamiento de gases se basan en las ecuaciones anteriores (*PDVSA, Flujo de Fluidos. Flujo en Fase Gaseosa, 1996*). Para usar el teorema de Bernoulli en el desarrollo de funciones para predecir caídas de presión, se necesita conocer la relación entre la presión del gas y la densidad en la

tubería. Además el comportamiento de la línea dependerá del tipo de flujo existente en dicha línea, el cual usualmente existe a condiciones entre adiabática e isotérmica (*ob. cit.*).

Para líneas largas sin aislar tales como líneas de transmisión de gas natural, el flujo se aproximará a condiciones isotérmicas. La solución de las ecuaciones básicas asumiendo un gas ideal y flujo isotérmico da como resultado la ecuación 3 (*ob. cit.*):

$$4633 \cdot \frac{P_1^2 - P_2^2}{P_1 \cdot v} = \left[\frac{4 \cdot f \cdot L_t \cdot G^2}{D} \right] \cdot \left[1 + \frac{D}{2 \cdot f \cdot L_t} \cdot \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \right] \quad (3)$$

Donde:

P_1 : Presión corriente arriba [psia]

P_2 : Presión corriente abajo [psia]

f : Factor de fricción de Fanning [Adim.]

L_t : Longitud de la línea [pie]

G : Velocidad másica [lbm/s.pie²]

D : Diámetro interno de la tubería [pie]

2.1.2. FLUJO CRÍTICO (SÓNICO) (CIED, 1997)

Lo que no parece ser evidente es el hecho de que el flujo másico de un flujo compresible en una línea con una presión aguas arriba conocida se aproximará a un flujo máximo que no puede exceder, sin importar cuanto se continúe reduciendo la presión aguas abajo.

La velocidad máxima de un flujo compresible en una tubería está limitada por la velocidad de propagación de la onda de presión que viaja a la velocidad del sonido en el fluido. Puesto que, la presión cae y la velocidad aumenta a medida que el fluido circula aguas abajo, la velocidad se presentará aguas abajo, al final de la tubería.

Si la caída de presión es lo suficientemente alta, la velocidad de salida será la velocidad del sonido. Si se continúa disminuyendo la presión aguas abajo, esta disminución no se sentirá aguas arriba, debido a que la onda de presión solo puede

viajar a la velocidad sónica y la señal nunca llegará aguas arriba. La caída de presión que se obtiene al bajar la presión de la salida por debajo de la correspondiente a la que produciría la velocidad máxima, se pierde en remolinos y turbulencias después de la descarga de la tubería.

La velocidad máxima posible en una línea es como se definió anteriormente la sónica y se puede expresar como:

$$V_s = \sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T} \quad (4)$$

Donde:

V_s : Velocidad sónica [pie/s]

k : Relación de calores específicos, C_p/C_v [Adim.]

R : Constante individual de los gases, 1545/M

T : Temperatura del gas [°R]

Es importante mencionar, que la presión correspondiente a la velocidad crítica o del sonido se le conoce como presión crítica y se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$P_c = 2450 \cdot \left(\frac{W \cdot Z}{D^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{T}{k \cdot M}} \quad (5)$$

Donde:

P_c : Presión crítica [psia]

W : Flujo másico, carga de alivio [lb/h]

Z : Factor de compresibilidad [Adim.]

M : Peso Molecular del gas [lb/lbmol]

2.1.3. LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBERÍA

La caída de presión en tuberías rectas horizontales de diámetro constante es causada mayormente por fricción y puede ser calculada mediante la ecuación de

fricción Fanning. Los codos, conexiones en “T”, válvulas, orificios y otras restricciones causan caídas de presión adicionales en una tubería, los accesorios que tienen el mismo diámetro nominal que la tubería pueden ser tomados en cuenta en términos de longitud equivalente de tubería recta. Esta longitud equivalente puede ser calculada a partir de los coeficientes de los accesorios (ver ecuación 6). La longitud equivalente es entonces sumada a la longitud real de la tubería y la suma es usada en la ecuación de Fanning para predecir la caída de presión total (*PDVSA, Flujo de Fluidos. Flujo en Fase Líquida, 1996*).

$$L_{eq} = \left[\frac{D}{48 \cdot f} \right] \cdot \sum K \quad (6)$$

Donde:

L_{eq} : Longitud Equivalente de todos los accesorios [pie]

K : Suma de los coeficientes de resistencia de todos los accesorios [Adim.]

2.2. SISTEMAS DE ALIVIO

Un sistema de alivio es un sistema de desecho cerrado usado para proteger las unidades contra una presurización excesiva, su propósito es dirigir, de manera segura, las corrientes de emergencia hacia el mechorrio para su quema adecuada. Está compuesto por:

- Válvulas de seguridad, ubicadas en los equipos a proteger.
- Un sistema de tuberías, recolector de descargas.
- Cabezales de mechorrio, que son aquellas tuberías de grandes dimensiones por donde circulan las emisiones de gas.
- Tambor o tambores de purga (KO Drum), donde se separa el líquido del vapor.
- Mechorrio(s), donde finalmente es quemado el gas.

Los tamaños de las líneas al mechorrio deben ser tales que permitan la operación simultánea de todas las válvulas de alivio conectadas a estas líneas a las

capacidades de diseño, cuando descarguen en el sistema. En la Figura 2.1 se muestran los componentes de un sistema de alivio común.

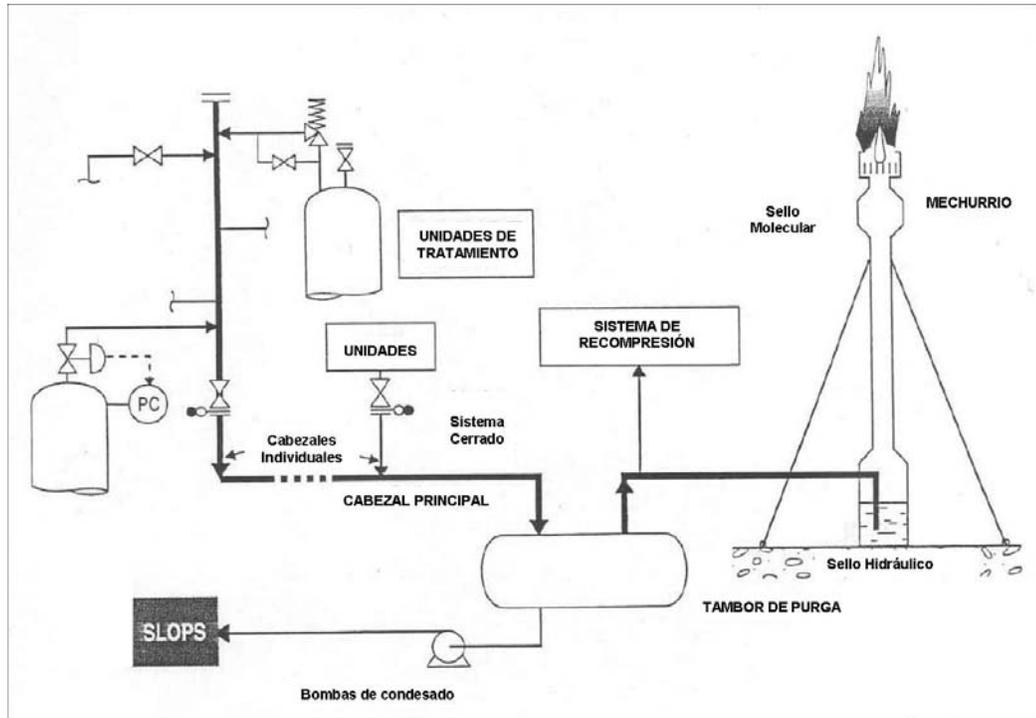


Figura 2.1: Componentes esenciales de un sistema de alivio

2.2.1. DISEÑO DE SISTEMAS DE ALIVIO (PDVSA, SISTEMAS DE ALIVIO, 1990)

El diseño apropiado de las válvulas de seguridad, cabezales, y mechurrios conlleva un análisis riguroso y puede demandar tanto juicio de ingeniería y experiencia como el diseño del reactor más sofisticado. Tal análisis, no sólo protegerá las unidades de procesamiento y la salud y seguridad del personal de operaciones, sino que puede reducir substancialmente el costo del equipo requerido.

A continuación se muestran una serie de tópicos que deben ser tomados en cuenta al momento de un diseño o una evaluación, la mayoría serán tratados con profundidad en secciones posteriores.

BASES DE DISEÑO

El aspecto más crítico del diseño es desarrollar un listado de contingencias bien determinadas y razonables, o emergencias probables basadas en la historia de la planta y la experiencia general. El diseño de seguridad debe determinar cuales emergencias tienen una posibilidad razonable de ocurrir y cuales emergencias son virtualmente imposibles. Un diseñador quien simplemente supone que todas las válvulas de alivio se abrirán simultáneamente, podría terminar con un sistema sobrediseñado.

RECOLECCIÓN DE DATOS

Primero, todos los datos de diseño relativos al equipo deben ser listados. Estos incluyen:

- Diagramas de flujo de proceso con tasas, temperaturas, presiones, composiciones y propiedades físicas;
- Diagramas de flujo mecánico;
- Presión máxima de trabajo permisible (PMTP) y condiciones de diseño para todos los equipos y bosquejos mostrando alturas de las faldas, dimensiones, especificaciones de aislamiento, etc.;
- Hojas de especificación de los equipos;
- Planos de ubicación de equipos y planos de la(s) planta(s);

LISTA DE CONTINGENCIAS

A continuación, se desarrolla una lista de contingencias mostrando todas las causas potenciales de sobrepresión en la unidad. Además de las emergencias normales de la planta, tales como falla eléctrica o de agua de enfriamiento, etc.

ANÁLISIS DE LA UNIDAD INDIVIDUAL

El siguiente paso en el procedimiento para el diseño de alivio y seguridad, es analizar las unidades individualmente para determinar cómo reaccionarán bajo condiciones de emergencia. Cada pieza de equipo que puede generar un vapor o

líquido, bajo cualquiera de las contingencias, debe ser analizada. Aún cuando este análisis no sea detallado, ninguna carga es demasiado pequeña para no ser considerada.

TIPOS DE CARGA

El cálculo de las cargas de alivio no es un simple ejercicio. En general, los cálculos caen dentro de tres clases:

- a. **Cargas de alivio térmicas no balanceadas.** Un ejemplo clásico de una carga térmica no balanceada sería una falla de agua de enfriamiento en una columna separadora propano–propileno. Como el rehervidor continuará generando vapores mientras el condensador no puede condensar, la columna aumentará su presión y deberá aliviar. La tasa de alivio, sin embargo, no es necesariamente igual a la tasa de vapores del rehervidor que continúa en operación. más bien, la carga de alivio debe ser calculada para las peores condiciones de alivio. El efecto de la presión aumentada, limita la fuerza térmica impulsora en el rehervidor y baja la tasa de alivio.
- b. **Cargas de alivio obstruidas.** El cierre inadvertido de la salida de una unidad que esté siendo alimentada o calentada, generará frecuentemente una carga de alivio. De nuevo, es importante calcular la carga de alivio en condiciones de alivio. Por ejemplo, al obstruirse el lado de vapor del separador de alta presión en una planta de gas, se formará una carga de vapor de alivio desde el rehervidor de la columna y el compresor simultáneamente. En lugar de combinar las tasas de operación, el diseñador deberá consultar la curva del compresor de gas para determinar la tasa real del compresor a la presión de alivio y luego agregar la carga térmica no balanceada desde el separador.
- c. **Fuego.** La carga por fuego se define como la cantidad de vapor que puede ser generada por un fuego directamente debajo del recipiente. Los cálculos están basados en la geometría y aislamiento de la unidad. No se puede suponer que el aislamiento reduzca las cargas por fuego a menos que pueda soportar el choque directo de la llama y no pueda ser destruido por chorros de agua contra incendio a

alta presión. No se permite reducción de carga para poliuretano, a menos que éste haya sido protegido contra el fuego por un escudo exterior.

El diseñador debe considerar las cargas calculadas como una buena aproximación, pero no como un valor absoluto. Aún cuando es posible definir más exactamente las cargas de alivio, analizando la operación a condiciones de alivio, es imposible predecir exactamente cómo reaccionará una unidad bajo condiciones de emergencia.

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Conocer las características de los diversos tipos de dispositivos de seguridad y saber cuando utilizar cada uno de ellos es una parte fundamental en el diseño de los sistemas de alivio.

DIMENSIONAMIENTO DE LA VÁLVULA

Después de calculadas las cargas de vapor de cada unidad para las diferentes contingencias de diseño, pueden seleccionarse las válvulas de alivio y seguridad individuales.

ANÁLISIS DE FALLAS SIMULTÁNEAS

Una vez determinado el tamaño de las válvulas y calculadas las cargas de alivio para todas las contingencias, se dimensiona el sistema de cabezal y mechorrio. No es razonable sumar la carga máxima de cada unidad, y luego dimensionar el tamaño del cabezal para la carga total. De igual manera que el arquitecto no planifica para un huracán al mismo tiempo que un terremoto, el diseñador de seguridad supone que sólo una cosa irá mal a la vez.

Es importante notar, sin embargo, que una falla puede provocar otra, así que debe hacerse un análisis para determinar cómo se relacionan las unidades una con otra. Por ejemplo, una falla eléctrica puede causar una falla total de agua de enfriamiento si las bombas de circulación son eléctricas.

VENTEO A LA ATMÓSFERA

Uno de los métodos más antiguos y simples de reducir las dimensiones requeridas del cabezal y mechurrio es ventear los hidrocarburos livianos a la atmósfera en condiciones de emergencia. Sin embargo, antes de diseñar un sistema con venteo atmosférico, debe cumplirse con varios criterios:

a. Que el venteo de emergencia de hidrocarburos está permitido por normas locales. No se permite el alivio al ambiente de líquidos, excepto agua.

b. Que los hidrocarburos no representen una amenaza de fuego. El vapor debe ser aliviado a la elevación más alta posible y a la máxima velocidad.

La velocidad a la salida del venteo no deberá ser menor de 500 pies/seg a plena capacidad y los tubos de salida de venteos no deberán tener un diámetro menor que el de la salida de la válvula de alivio y deberán ser soportados adecuadamente contra las fuerzas de reacción.

c. Que el nivel de ruido a nivel del suelo no sea excesivo durante el venteo. Aislando el cabezal de salida se puede reducir substancialmente este problema.

d. Que las válvulas no tengan fugas. Algunas compañías instalan discos de ruptura debajo de las válvulas de seguridad para garantizar que no ocurra una fuga continua.

DIMENSIONAMIENTO DEL CABEZAL Y DEL MECHURRIO

Los resultados de los análisis de las instalaciones propuestas (diseño) deben tabularse para determinar la tasa de contingencia del diseño y características del gas a ventear, (peso molecular y temperatura). Para determinar el tamaño del cabezal principal y líneas, los cálculos de caída de presión deben hacerse desde la boquilla del mechurrio hacia atrás. El cabezal debe tener un tamaño tal, que la contrapresión acumulada en el cabezal, sea menor que la contrapresión más baja permisible de cada válvula de seguridad conectada al cabezal.

TANQUES SEPARADORES Y SELLOS

Se recomienda un tanque separador en la línea al mecurrio a fin de recoger cualquier líquido que llegue al cabezal. El volumen de vapor que iría al mecurrio se reduce, aminorando así los requerimientos de cabezal y mecurrio. En sistemas grandes, que sirven a muchas unidades, es a menudo más económico instalar capacidad de sobrecarga en exceso y recuperar los gases y líquidos.

Los separadores deben diseñarse en base a la máxima cantidad de vapor a manejar. La selección entre un tanque horizontal o uno vertical, estará basada en consideraciones económicas, tomando en cuenta la inclinación requerida del cabezal del mecurrio.

También se recomienda proveer una forma de sellar el mecurrio desde el cabezal ya que el enfriamiento en el cabezal después de una descarga, puede succionar aire dentro del sistema de alivio. Hay varios sistemas de sello:

- **Tanque de sello hidráulico:** El método más antiguo de sellado, emplea un tanque parcialmente lleno de agua, con la línea de entrada de vapor sumergida en el seno del líquido.
- **Sello molecular:** Este sello está diseñado con dos curvas de 180° para efectuar el sellado. El sello molecular requiere una pequeña purga de gas.
- **Sellos de gas de purga:** En el pasado, muchas unidades estaban selladas a través de un flujo continuo de gas de purga hacia el mecurrio. Se requiere una velocidad de purga de 1 a 3 pies/seg. En vista del alto costo de la energía, un sistema de gas de purga sencillo, sin un sello complementario, no es económico y raramente se usa hoy día.
- **Sellos internos:** Actualmente varios suplidores ofrecen un sello estacionario que requiere una pequeña purga de gas, la cual mantiene el aire fuera del mecurrio.

Los líquidos deberán ser descargados preferiblemente al mismo sistema de líneas de la planta, siempre y cuando las válvulas de alivio del sistema receptor puedan manejar la carga adicional. Si esto no es posible, los líquidos deberán ser descargados en el sistema principal de alivio o en un sistema de alivio separado con

un recipiente recolector que tenga un venteo apropiado. Nunca debe enviarse líquidos a un mechurrio elevado, sólo podrán quemarse en fosas apropiadas. Las corrientes que contengan sulfuros nunca deberán descargar al drenaje común de la planta.

LÍNEAS DE ALIVIO

Después de establecer los requerimientos de alivio, se puede diseñar el sistema de alivio. Este diseño puede variar entre una designación vaga de unos cuantos pies de línea hasta dibujos preliminares. En el último caso, los accesorios se convertirán en tramos rectos de tubo equivalente para llegar a un requerimiento total de presión necesaria.

Toda la tubería de entrada y salida hacia y desde válvulas de seguridad/ alivio y despresurización deberá ser de acero, y deberá estar diseñada y soportada en tal forma que cualquier carga excesiva debida a expansión térmica ó contracción, y fuerza de reacción, pueda ser manejada.

Los lazos de expansión deberán estar en un plano horizontal para evitar acumulación de líquidos.

El diseño inicial de un sistema de alivio debe ser verificado, después que los planos detallados están disponibles, para asegurar que sea el adecuado. El dimensionamiento del diámetro de la línea de alivio, se hará en forma tal que permita una tasa de flujo máxima a través de la línea, con la presión disponible a la salida de la válvula de alivio. El final de la línea estará a presión atmosférica más la pérdida de presión de salida ó la presión de flujo crítico, cualquiera sea mayor.

DIMENSIONAMIENTO DEL TAMAÑO DE CABEZALES DE ALIVIO

Los tamaños de las líneas al mechurrio deben ser tales que permitan la operación simultánea de todas las válvulas de alivio conectadas a estas líneas a las capacidades de diseño, cuando descarguen en el sistema.

A menos que consideraciones especiales indiquen otra cosa, las válvulas de alivio se dimensionan normalmente para una presión de salida o contrapresión menor que la presión de flujo crítico (*PDVSA, Manual de Ingeniería de Diseño. Sistemas de*

Alivio). Esto asegura tasas de alivio constantes para las válvulas de alivio sin importar la presión de salida, mientras la contrapresión no exceda la presión crítica (Ecuación 7).

Para dimensionar las líneas en un sistema de mechorrio, se debe conocer el número de válvulas de alivio conectadas al sistema, la longitud (y longitud equivalente) de cada línea, la presión de disparo y la capacidad de flujo de cada válvula. Usando las fórmulas de flujo de gas, tales como la mostrada en la ecuación 3, se hacen los cálculos de caída de presión en base a tamaños supuestos de línea; luego se determina la presión de la línea aguas abajo de cada válvula de alivio, empezando por el extremo del cabezal principal (en la chimenea del mechorrio) donde la presión es atmosférica o crítica (cualquiera sea mayor), y sumando cada caída de presión calculada; después se hacen los ajustes en el tamaño supuesto de la línea si fuera necesario, para mantener estas presiones calculadas por debajo de la presión de flujo crítico para cada válvula de alivio.

2.3. VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Los dispositivos para alivio de presión son elementos utilizados en cualquier recipiente que contenga gases o líquidos a presiones mayores a la atmosférica que evitan que el recipiente sufra roturas ante elevaciones excesivas de presión. A nivel industrial, su función consiste en proteger a los distintos equipos (recipientes, intercambiadores de calor, bombas, compresores, etc.) ante un elevado aumento de presión, generalmente debido a una falla en el proceso, actúan liberando el fluido (líquido o gas) que circula o se almacena en el equipo protegido (*Wikipedia, 2008*).

Los dispositivos de alivio y seguridad usados normalmente son:

- a. Una válvula de alivio, que es un dispositivo de alivio automático de presión, activada por la presión estática aguas arriba de la válvula, la cual se abre en proporción al aumento de presión por encima de la presión de ajuste. Una válvula de alivio, se usa principalmente para manejar líquidos.

- b. Una válvula de seguridad, se usa normalmente en servicio de gas y vapor ó en servicio de aire y vapor de agua. Es un dispositivo de alivio automático de presión, activada por la presión estática aguas arriba de la válvula y caracterizada por una apertura rápida completa ó acción de disparo.
- c. Una válvula de alivio y seguridad que se utiliza normalmente en servicio de gas o líquido, es un dispositivo automático de alivio de presión, apropiado para uso bien sea, como válvula de seguridad ó como válvula de alivio, dependiendo de su aplicación.
- d. Un disco de ruptura es un dispositivo que se acciona por la presión estática de entrada y está diseñado para funcionar por rotura de un disco retenedor de presión. El disco, el cual está generalmente ensamblado entre bridas, puede estar hecho de metal, plástico u otros materiales. Está diseñado para soportar presiones hasta un nivel especificado, a la cual el disco se romperá y aliviará la presión del sistema a proteger.

Una *válvula de seguridad* se usa para servicios de gas o de vapores, están diseñadas para liberar fluido cuando la presión interna supera el umbral establecido y su misión es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión (*ob. cit*). En la Figura 2.2 se muestran los modelos más comunes de válvulas de seguridad.



Figura 2.2: Diversidad de válvulas de seguridad en el mercado

Las válvulas de seguridad se suelen especificar de la siguiente manera:

<i>Ent</i>	<i>X</i>	<i>Sal</i>
------------	----------	------------

Donde:

Ent: Tamaño nominal de la tubería entrante a la válvula de seguridad [pulg]

X: Área efectiva de orificio de la válvula de seguridad [pulg²]

Sal: Tamaño nominal de la tubería saliente de la válvula de seguridad [pulg]

El área efectiva de orificio es la superficie de la sección transversal del tubo interno en la válvula de seguridad por donde circula el gas a que va a ser liberado. De esta manera, si una válvula es de tamaño 4P6, es porque la tubería entrante es de 4", el área de orificio efectiva es de 6,38 pulg² (ver Tabla 8.2 en la sección de ANEXOS) y la tubería saliente es de 6".

2.3.1. CONTRAPRESIÓN (*EXXONMOBIL DESING PRACTICES*)

Primero es necesario definir dos importantes términos en cuanto a válvulas de seguridad se refiere, ellos son (*ExxonMobil Desing Practices*):

- ***Presión de disparo (o de ajuste)***. Es la presión de entrada a la cual la válvula de alivio de presión está ajustada para abrir bajo las condiciones de servicio.
- ***Presión de calibración***. Es la presión a la cual la válvula es ajustada para abrir en el banco de pruebas. Esta presión de prueba diferencial en frío incluye las correcciones para condiciones de servicio de contrapresión y/o temperatura.

La *contrapresión* es la presión en el lado de la descarga de la válvula de alivio de presión, en la Figura 2.3 se puede visualizar la ubicación de la contrapresión en una válvula de seguridad en comparación con la presión de disparo. La contrapresión total es la suma de las contrapresiones superimpuestas y acumuladas:

- ***Contrapresión superimpuesta***. Es la presión en el lado de la salida de la válvula de alivio de presión mientras la válvula está en una posición cerrada. Este tipo de

contrapresión viene de otras fuentes en el sistema de descarga; puede ser constante o variable y puede ser determinante para seleccionar una válvula convencional o una válvula de fuelle balanceado en aplicaciones específicas.

- **Contrapresión acumulada.** Es la caída de presión causada por fricción que tiene lugar como resultado del flujo a través del sistema de descarga después que se abre la válvula de alivio de presión.

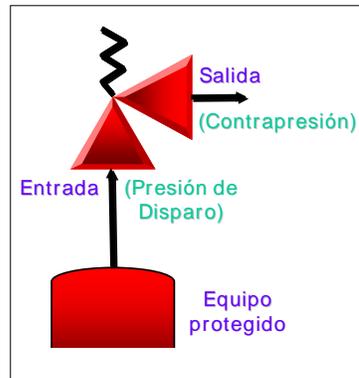


Figura 2.3: Presión de disparo y contrapresión

2.3.2. GOLPETEO EN LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD (*EXXONMOBIL DESING PRACTICES*)

El golpeteo es la apertura y cierre rápido y alternado de una válvula de alivio de presión. Esta vibración puede causar desalineación y escape cuando la válvula retorna a su posición normal cerrada; si se prolonga por un tiempo suficiente puede resultar en fallas mecánicas de las partes internas de la válvula o de accesorios asociados con la tubería.

El golpeteo puede ocurrir en válvulas de alivio de presión en servicio para líquidos o vapores. Las principales causas del golpeteo son las siguientes:

- a) **Válvula sobredimensionada.** Las válvulas de alivio de presión de acción de disparo en servicio para vapores, abren en el punto de ajuste por acción de la presión estática del proceso sobre el disco de la válvula, y se mueven a la posición de totalmente abierta con solo una ligera sobrepresión. Típicamente, se necesita un flujo de por lo menos 25% de la capacidad de la válvula para mantener el disco

en la posición abierta. A flujos más bajos la energía cinética del flujo de vapor es insuficiente para mantener la válvula abierta contra la acción del resorte y retorna a la posición cerrada solamente para abrirse otra vez inmediatamente, puesto que la presión estática dentro del sistema todavía excede la presión de ajuste. El golpeteo resulta de un ciclo que se prolonga de esa manera. En la mayoría de los casos, puede ser apropiado el uso de válvulas de alivio de presión múltiples con puntos de ajuste escalonados para eliminar este problema.

- b) **Caída de presión excesiva a la entrada.** Una válvula de alivio de presión comienza a abrir a su presión de ajuste, pero a las condiciones de descarga la presión que actúa sobre el disco de la válvula se reduce en una cantidad igual a la caída de presión a través de la tubería de entrada y sus accesorios. Si esta caída de presión es lo suficientemente grande, la presión de entrada a la válvula puede disminuir por debajo de la presión de asiento causando que la válvula cierre para reabrirse inmediatamente, ya que la presión estática es todavía mayor que la presión de ajuste. El golpeteo resulta de la repetición rápida de este ciclo.

Para evitar que ocurra el golpeteo, debe diseñarse la tubería de entrada y la válvula de alivio de presión con la menor caída de presión práctica posible (incluyendo pérdidas de presión por entrada, en la tubería y a través de la válvula de aislamiento), o sea no mayor del 3% de la presión de ajuste a la tasa de alivio de diseño.

- c) **Excesiva contrapresión acumulada.** La contrapresión acumulada resultante del flujo de descarga a través del sistema de salida de una válvula de alivio de presión convencional, resulta en una fuerza sobre el disco de la válvula tendiente a retornarla a su posición cerrada. Si esta fuerza de retorno es lo suficientemente grande puede causar que la válvula cierre, solamente para reabrirse inmediatamente cuando desaparece el efecto de la contrapresión acumulada. El golpeteo resulta de la rápida repetición de este ciclo.

Para prevenir este golpeteo, los sistemas de descarga de válvulas de alivio de presión convencionales deben-ser diseñadas para una contrapresión acumulada máxima de 10%. En los casos en que el diseño de alivio de presión es controlado

por condiciones de incendio con una sobrepresión de 21%, está permitida una contrapresión acumulada del 21% de la presión de ajuste.

2.3.3. TIPOS DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD (EXXONMOBIL DESING PRACTICES)

Existen tres (3) tipos de válvulas de seguridad, ellas son: convencionales, de fuelle balanceado y operadas por piloto. A continuación se detallan cada una de ellas:

2.3.3.1. VÁLVULAS DE SEGURIDAD CONVENCIONALES

Operación y estructura

Estas válvulas se fabrican con el bonete venteado del lado de la descarga, por lo que la contrapresión puede afectar a la presión de ajuste y a la capacidad de alivio. Las válvulas de alivio convencionales cuentan con discos cuya área (**AD**) es mayor que el área del asiento de la tobera (**AT**), por lo tanto, si el bonete se ventea al lado de la descarga, la contrapresión se suma a la presión del resorte, incrementando la presión de ajuste (ver Figura 2.4) (*Santa Ana, Aguado, Gómez y Andrade, 1998*).

La presencia de cualquier contrapresión superimpuesta sobre el tope del disco de una válvula convencional ejerce una fuerza de cierre, adicional a la fuerza del resorte, que se opone a la fuerza de apertura ejercida sobre el disco de la válvula por la presión en el recipiente. Una contrapresión acumulada excesiva que actúa sobre el tope del disco de una válvula de alivio de presión convencional puede resultar en un golpeteo.

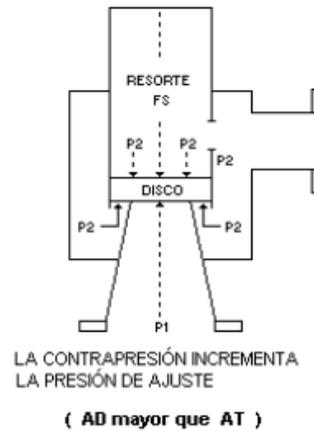


Figura 2.4: Efecto de la contrapresión en la válvula de seguridad tipo convencional

En la Figura 8.1 mostrada en la sección de ANEXOS se pueden apreciar las distintas partes de una válvula convencional. Según el código de colores del CRP, estas válvulas deben estar pintadas enteramente de color amarillo.

Limitaciones de contrapresión

Las válvulas de alivio de presión convencionales y los sistemas de descarga deben ser diseñados de tal modo que la contrapresión acumulada no exceda en 10% la presión de ajuste (ambas medidas en psig), para evitar problemas de golpeteo. En el caso en que un sistema con válvula de alivio de presión es dimensionado para condiciones de un incendio, está permitida una contrapresión acumulada de 21% de la presión de ajuste. Sin embargo, el flujo inferior resultante de otras contingencias debe todavía cumplir la limitación del 10%.

2.3.3.2. VÁLVULAS DE SEGURIDAD BALANCEADAS

Operación y estructura

Estas válvulas incorporan medios para minimizar el efecto de la contrapresión sobre las características de funcionamiento.

En las válvulas balanceadas tipo fuelle, el área efectiva del fuelle **AF** es la misma que el área del asiento de la tobera **AT**, y por estar unido al cuerpo de la válvula, excluye la acción de la contrapresión sobre el lado superior del disco, la fuerza de cierre ejercida por la contrapresión sobre el tope del disco de la válvula y la contrapresión ejercida sobre la parte inferior del disco se balancean porque las superficies expuestas son iguales, cancelándose la una con la otra. El fuelle protege el tope del disco contra la sobrepresión, de manera que el fluido no tiene contacto con el bonete y el área del fuelle se ventea a la atmósfera a través del venteo (Figura 2.5) (Santa Ana, 1998).

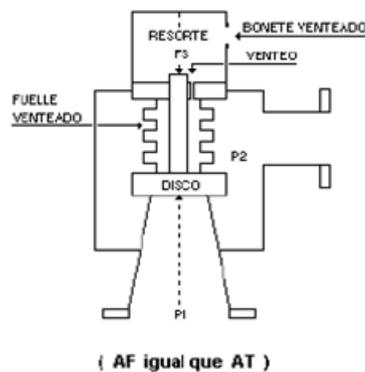


Figura 2.5: Efecto de la contrapresión en la válvula de seguridad tipo balanceada

En la Figura 8.2 mostrada en la sección de ANEXOS se pueden apreciar las distintas partes de una válvula balanceada. Debido a que físicamente estas válvulas se parecen mucho a las de tipo convencional, el código de colores del CRP indica que las válvulas balanceadas deben estar pintadas de color amarillo en el cuerpo (parte inferior) y de rojo el bonete.

Limitaciones de contrapresión

Las válvulas de alivio de presión del tipo fuelle balanceado no están sujetas a golpeteo por causa de la contrapresión. Sin embargo, la contrapresión máxima está limitada por la capacidad y en algunos casos por las limitaciones de resistencia mecánica de diseño de partes tales como la brida de salida, fuelles y bonete de la válvula. En general, la contrapresión total sobre una válvula de alivio de presión del

tipo fuelle balanceado (superimpuesta más acumulada) debe limitarse al 50% de la presión de ajuste, debido al importante efecto de contrapresiones mayores sobre la capacidad de la válvula, aun cuando se usan factores de corrección apropiados en el dimensionamiento.

Casos en que se debe emplear una válvula balanceada

Se debería especificar válvulas de fuelle donde apliquen cualquiera de los siguientes casos:

- 1) La contrapresión acumulada excede el 10% de la presión de ajuste, basada en libras por pulgada cuadrada manométricas (psig); o excede en 21% la presión de ajuste en el caso de incendio.
- 2) Las contrapresiones superimpuestas no son constantes en los casos en que las contrapresiones fluctúan sobre una válvula convencional, la válvula puede abrir a una presión muy baja o puede permitir que la presión del recipiente exceda la presión de trabajo de los componentes del equipo, dependiendo de la fluctuación de la presión.
- 3) El servicio es sucio o corrosivo, puesto que el fuelle protege el resorte del fluido de proceso. Sin embargo, las circunvalaciones del fuelle pueden también ensuciarse en servicio extremadamente viscoso, tal como asfalto, limitando el levantamiento de la válvula, a menos que la válvula sea calentada y aislada.

Aunque la válvula de alivio de presión tipo fuelle tiene la ventaja de tolerar una contrapresión más alta que lo que puede soportar una válvula convencional, debe reconocerse que el fuelle es inherentemente un punto de debilidad mecánica que introduce algún grado de riesgo adicional en el caso de que el fuelle tenga una falla y descargue fluidos de proceso a través del venteo.

2.3.3.3. VÁLVULAS DE SEGURIDAD OPERADAS POR PILOTO

Una válvula de alivio de presión operada por piloto es la que tiene el dispositivo principal de flujo combinado con y controlado por una válvula de alivio

de presión auxiliar auto-accionada. Este tipo de válvula no utiliza una fuente externa de energía. En la Figura 8.3 (ANEXOS) se ilustran las distintas partes de una válvula típica de alivio de presión operada por piloto. Según el código de colores del CRP, estas válvulas deben estar pintadas enteramente de color amarillo.

Bajo condiciones operacionales normales, la presión de un recipiente actúa sobre el asiento principal de las válvulas 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 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 despresiona 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.

Cuando se alcanza la presión de descarga de alivio predeterminada del sistema, la válvula piloto cierra, se repone la presión del sistema al domo por encima del pistón y éste es movido rápidamente a su posición de cierre.

Las válvulas de alivio de presión operadas por piloto están limitadas a servicios limpios, donde constituyen una alternativa aceptable para las válvulas de fuelle, si se requieren características balanceadas. Su ventaja particular la constituye la ausencia del más mínimo escape o sudoración, lo cual permite un margen más estrecho que lo normal entre la presión operativa y la presión de ajuste.

2.3.4. DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN (PDVSA, MANUAL DE DISEÑO DE PROCESO. PROCEDIMIENTOS PARA ESPECIFICAR Y DIMENSIONAR VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN, 1997)

El flujo de alivio requerido para una válvula de alivio de presión se determina considerando las contingencias que pueden causar una sobrepresión. En lo que sigue, se describen los procedimientos de cálculo para determinar el tamaño de la válvula de alivio de presión requerido para dejar pasar el flujo de alivio de diseño en el caso de que el servicio sea vapor.

La caída de presión que corresponde al flujo crítico se denomina “caída de presión crítica”, o sea es $P_1 - P_x$, donde P_1 es la presión absoluta aguas arriba y P_x es la presión del flujo crítico. Si la presión P_2 (superimpuesta + acumulada) aguas abajo de la restricción es menor que la “presión del flujo crítico”, entonces el flujo máximo que puede obtenerse y que ocurre a la velocidad crítica es una función de P_1 y de P_x , pero no es afectado por P_2 . Sin embargo, si la presión P_2 es mayor que P_x , entonces el flujo se denomina “subcrítico” y la velocidad de flujo es una función de P_1 y P_2 . Existen entonces dos ecuaciones para dimensionar las válvulas de alivio de presión en servicio para vapores, dependiendo de si el flujo es crítico o subcrítico.

En el diseño de válvulas de alivio de presión, es deseable seleccionar el lugar de la descarga de la válvula de alivio a una presión lo suficientemente baja para permitir diseñar para condiciones de flujo crítico, de modo que el flujo de alivio sea independiente de pequeñas fluctuaciones de la contrapresión.

El primer paso para dimensionar una válvula de alivio de presión para el flujo de vapores es determinar la presión del flujo crítico P_x , mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{P_x}{P_1} = \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (7)$$

Donde:

P_x : Presión crítica en la válvula de seguridad [psia]

2.3.4.1. DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO CRÍTICO

Para condiciones de flujo crítico (o sea, cuando la presión superimpuesta total más la contrapresión acumulada, es igual o menor que la presión de flujo crítico) la siguiente ecuación se usa para calcular el área del orificio requerido:

$$W = 520 \cdot K_d \cdot K_b \cdot A_{\text{orificio}} \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T_1} \cdot k \cdot \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (8)$$

Donde:

K_d : Coeficiente de descarga del orificio según lo recomienda el fabricante [Adim.]

K_b : Factor de corrección para la contrapresión. [Adim.]

A_{orificio} : Área efectiva del orificio [pulg²]

T_1 : Temperatura de operación normal [°F]

Para válvulas de alivio de seguridad convencionales puede usarse un coeficiente K_b de 1,0 para las condiciones de flujo crítico. Para válvulas del tipo fuelle balanceado deben consultarse las curvas del fabricante para el factor de contrapresión recomendado. Este factor (K_b) puede ser significativo, o sea puede ser menor de 1,0 a contrapresiones menores que la presión de flujo crítico. La Figura 2.6 representa un promedio de los valores de (K_b) recomendados por varios fabricantes de válvulas de alivio de presión y pueden usarse cuando se desconoce la marca de la válvula de fuelle balanceado. Sin embargo, ese gráfico no es confiable para presiones de ajuste menores a 50 psig y debe hacerse referencia al catálogo del fabricante de la válvula de alivio de presión

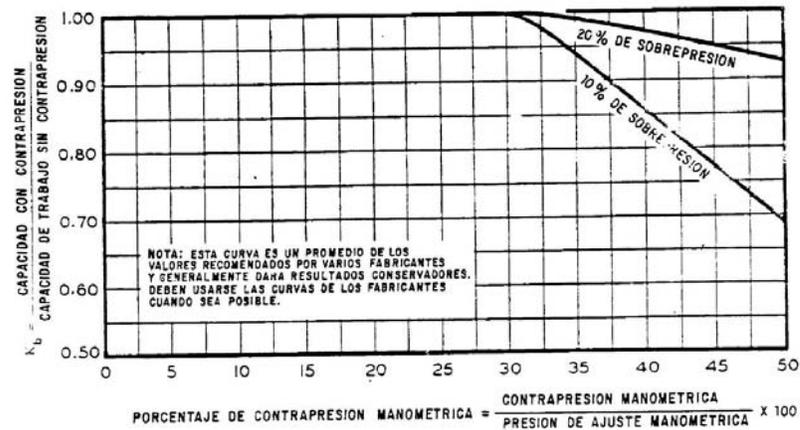


Figura 2.6: Factor de dimensionamiento para contrapresión constante o variable (K_b) para válvulas de alivio de seguridad de fuelle balanceado (vapores y gases)

Generalmente, se usa un coeficiente K_d de 0,975 para el tipo común de válvula de alivio de presión, sin embargo, algunos diseños de válvula más recientes y válvulas fabricadas fuera de los EUA pueden tener un coeficiente ligeramente diferente. Para la selección final de la válvula, debe consultarse la literatura del fabricante.

La ecuación (8) aplica a válvulas convencionales y de fuelle balanceado de alivio de seguridad, con tal que se use el factor apropiado de contrapresión, K_b .

2.3.4.2. DIMENSIONAMIENTO PARA FLUJO SUBCRÍTICO

Para los casos excepcionales de flujo subcrítico (por ejemplo, cuando se diseña una válvula de alivio de presión para una baja presión de ajuste y la presión superimpuesta más contrapresión acumulada total excede la presión del flujo crítico) puede usarse la siguiente ecuación:

$$W = 2404 \cdot K_d \cdot A_{\text{orificio}} \cdot \sqrt{\left[\frac{P_{ent}}{v_1} \right] \cdot \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{CP}{P_{ent}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \left[\frac{CP}{P_{ent}} \right]^{\frac{2}{k}}} \quad (9)$$

Donde:

K_d : Coeficiente de descarga del orificio según lo recomienda el fabricante [Adim.]

P_{ent} : Presión de entrada a la brida a las condiciones de alivio (incluyendo la acumulación) [psia]

v_l : Volumen específico a las condiciones de entrada [pie^3/lb]

CP : Contrapresión total (superimpuesta más acumulada) [psia]

La ecuación anterior es aplicable solo a válvulas del tipo convencional y válvulas de alivio de presión operadas por pilotos. Las válvulas de fuelle balanceado se pueden calcular aplicando la ecuación 8.

2.4. CONTINGENCIAS

Una *contingencia* es un evento anormal que es la causa de una condición de emergencia. El costo de proveer instalaciones para aliviar todas las posibles emergencias simultáneamente sería prohibitivo, cada emergencia surge de una causa específica o contingencia. La ocurrencia simultánea de dos o más contingencias es improbable, de aquí que, generalmente, una emergencia que pueda surgir solamente de dos o más contingencias no relacionadas normalmente no es considerada para propósitos de dimensionar equipos de seguridad. Asimismo, emergencias simultáneas pero separadas, no se consideran si las contingencias que las causan no están relacionadas (*ExxonMobil Desing Practices*).

Cada unidad o componente del equipo debe ser estudiado individualmente y cada contingencia debe ser evaluada. El equipo de seguridad para una unidad individual se dimensiona para manejar la carga más grande resultante de cualquier posible contingencia sencilla. Cuando se analiza cualquier contingencia sencilla uno debe considerar todos los efectos directamente relacionados que puedan ocurrir por causa de esa contingencia. De un modo similar, si una cierta emergencia involucra

más de una unidad, entonces todas las unidades afectadas deben considerarse en conjunto (*ExxonMobil Desing Practices*).

Las contingencias que involucran un solo equipo o sistema más comunes son (*Inelectra, 1998*):

- Salida bloqueada
- Ruptura de tubos de intercambiadores
- Falla de control automático

Entre las contingencias que involucran uno o varios equipos o sistemas tenemos (*ob. cit*):

- Incendio
- Falla de servicios industriales:
 - Energía eléctrica
 - Agua de enfriamiento
 - Aire de instrumentos
 - Vapor

Para los cálculos de carga de alivio, no se debe considerar doble contingencia a menos que una contingencia sea consecuencia directa de la otra.

- No tomar en cuenta el sistema de control automático en el momento que ocurra alguna contingencia.
- Se considera que las torres de destilación continúan fraccionando en condiciones de alivio, es decir, los productos mantienen la composición definida para la operación normal.

2.4.1. SOBREPRESIÓN (*EXXONMOBIL DESING PRACTICES*)

Un término muy usado en el lenguaje de sistemas de alivio es la *acumulación*, que no mas que el aumento de presión por encima de la máxima presión de trabajo permitida o presión de diseño (en unidades de presión manométricas) del recipiente durante la descarga a través de la válvula de alivio de presión, expresada como porcentaje de esa presión.

La *sobrepresión* es el aumento de presión por encima de la presión de ajuste del dispositivo de alivio primario durante la descarga. Es la misma que la acumulación cuando el dispositivo de alivio está ajustado a la máxima presión de trabajo permitida del recipiente.

La sobrepresión es el resultado de un desbalance o interrupción de los flujos normales de materia y energía, o ambos, que causan que la materia se acumule en alguna parte del sistema, en otras palabras, es originada por una *contingencia*. El análisis de las causas y magnitudes de la sobrepresión involucra por lo tanto un estudio complejo de los balances de materia y energía en un sistema del proceso.

2.4.2. ORIGEN DE LA CONTINGENCIA (*EXXONMOBIL DESING PRACTICES*)

El primer paso en el diseño para protección contra sobrepresión es considerar todas las contingencias que puedan causar una sobrepresión y evaluarlas en términos de las presiones que puedan ser generadas y/o de los flujos a que los fluidos deben ser aliviados.

Todos los recipientes a presión no sujetos a combustión deben ser protegidos mediante dispositivos de alivio de presión que eviten que la presión aumente más de un 10% o 3 psi, cualesquiera de las dos que sea la mayor, por encima de la máxima presión de trabajo permitida (16% o 4 psi con válvulas múltiples). La excepción es que se permite un exceso de presión de 21%, en los dispositivos de alivio de presión que adicionalmente son requeridos, cuando el exceso de presión es causado por una exposición a un incendio u otras inesperadas fuentes externas de calor.

2.4.2.1. FALLA DE LOS SERVICIOS INDUSTRIALES

La falla de los suministros provistos por los servicios industriales (por ejemplo, electricidad, agua de enfriamiento, vapor, electricidad o aire para instrumentos, o combustible), a las instalaciones de la planta de refinación resultará en muchos casos en condiciones de emergencia que potencialmente pueden causar

sobrepresión en los equipos. Aunque los sistemas de suministro de servicios industriales están diseñados para ser confiables mediante la selección de sistemas múltiples de generación y distribución, equipos de repuesto, sistemas de apoyo, etc., todavía permanece la posibilidad de que fallen.

2.4.2.2. MAL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Los componentes de los equipos están sujetos a falla individual debido a mal funcionamiento mecánico, en adición a fallas como resultado de la falta del suministro de algún servicio auxiliar. Tales componentes incluyen bombas, ventiladores, compresores, mezcladores, instrumentos y válvulas de control. El descontrol del proceso que resulta de un tal mal funcionamiento puede a su vez resultar en condiciones de emergencia y en una situación potencial de sobrepresión.

2.4.2.3. ERRORES DEL OPERADOR

Los errores de los operadores se consideran como una causa potencial de sobrepresión, aunque generalmente no se consideran las contingencias causadas por extrema negligencia o incompetencia. Casos de extrema negligencia que no se incluyen generalmente son: olvido de remover discos ciegos, vacío debido al bloqueo de un recipiente que trabaja con vapor durante una parada de mantenimiento, desvío de dispositivos de emergencia, operar con una válvula de bloqueo cerrada asociada con una válvula de alivio de presión y un grave deslineamiento del flujo de proceso durante un arranque. Aunque el cierre o apertura de válvulas que normalmente deben estar trabadas en la posición abierta (CSO) o trabadas en la posición cerrada (CSC) es también considerado como un caso de extrema negligencia. Un ejemplo típico de un error de un operador que debería ser considerado es la apertura o cierre de una válvula sin darse cuenta de lo que está haciendo.

2.4.3. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE ALIVIO

En los siguientes párrafos se describen una variedad de situaciones típicas de emergencia en una planta que puedan resultar de fallas de servicios industriales, mal funcionamiento de los equipos o descontroles de la planta y que pueden resultar en una sobrepresión de los equipos. Se incluyen lineamientos para la evaluación de esas condiciones de emergencia y la determinación de las velocidades de alivio.

2.4.3.1. INCENDIO

Los equipos en el área de una planta que maneja fluidos inflamables están sujetos potencialmente a ser expuestos a un incendio externo, lo cual puede conducir a una sobrepresión resultante de la vaporización de los líquidos contenidos. Este riesgo puede existir aun para componentes del equipo que contienen materiales no inflamables (*ExxonMobil Design Practices*).

Todos los recipientes sujetos a riesgo de sobrepresión por incendio deben ser protegidos mediante válvulas de seguridad, con las siguientes excepciones (*ob. cit*):

1. No se requiere una válvula de alivio de presión para proteger contra incendios cualquier recipiente que normalmente no contiene o contiene muy poco líquido.
2. Tambores y columnas de 2 pie y menos de diámetro, constituidos de tubería, accesorios de tuberías o su equivalente no requieren válvulas de seguridad para su protección contra incendios en base a que las tuberías no son provistas de protección contra sobrepresión a causa de esta contingencia.
3. Los recipientes interconectados puede ser considerados como una unidad para propósitos de alivio de presión.
4. Excepto en el caso de situaciones especiales no se proveen dispositivos de alivio de presión para exposición a incendio de intercambiadores de calor, enfriadores por aire, o tuberías, ni tampoco se incluyen las superficies expuestas de esos renglones en el cálculo de la entrada total de calor por exposición a un incendio.

Al calcular las cargas de calor como resultado de incendio de los diferentes recipientes, se asume que los vapores son generados por la exposición al incendio y

que el calor es transferido a los líquidos contenidos a las condiciones operacionales. Para determinar la capacidad de la válvula de alivio para varios recipientes interconectados, cada recipiente debe ser calculado separadamente, en vez de determinar la entrada total de calor en base a la suma de las superficies humedecidas de todos los recipientes. No se consideran los vapores generados por la entrada de calor normal del proceso o compresión, etc. No se da ningún crédito para cualquier vía de escape de la carga de vapores generados por el incendio que no sea a través de la válvula de alivio (que puede ser una válvula de alivio común para más de un recipiente interconectado). Tampoco se da ningún crédito por la reducción de la carga de calor generada por el incendio debido al funcionamiento continuo de condensadores y enfriadores (*ExxonMobil Desing Practices*).

A fin de determinar la capacidad total de vapores a ser aliviada cuando varios recipientes están expuestos a un incendio sencillo, el área de procesos se divide en un número de áreas sencillas de riesgo, donde cada área estaría totalmente involucrada en un incendio sencillo. Según la norma API 521, ésta debe ser una zona circular con un diámetro de 69 pies. Para ser conservadores, se podría tomar el área de riesgo en una refinería como la totalidad de los equipos que pertenecen a una unidad de procesos.

Cuando ocurre un incendio se supone que todo el flujo de los fluidos hacia o desde el área de riesgo ha sido interrumpido. Por lo tanto, cargas de flujo originadas por fallas de válvulas de control o corrientes de alimentación que entran no son aditivas a las cargas originadas por el incendio. No se da ningún crédito por la salida de flujos a través de las vías normales puesto que pueden estar bloqueadas durante la emergencia del incendio.

La carga total por el incendio se calcula para cada área de riesgo de incendio y se usa para determinar la descarga más grande del riesgo sencillo. Donde el tamaño de un cabezal de descarga cerrado es fijado por los requerimientos de capacidad de alivio por fuego puede tomarse ventaja para reducir el requerimiento suministrando protección o aislamiento a prueba de incendio en recipientes con altos inventarios de líquidos.

A continuación se describe el procedimiento para calcular los caudales de alivio requeridos (*PDVSA, 1997, Manual de Diseño de Proceso. Consideración de Contingencia y Determinación de los Flujos de Alivio*):

Paso 1. Cantidad de calor absorbida

La cantidad de calor absorbida por un recipiente expuesto a un incendio abierto es notablemente afectada por el combustible que produce y/o alimenta al incendio, el grado en que el fuego envuelve al equipo bajo estudio, tamaño y carácter de la instalación, y las medidas de protección contra incendio. Estas condiciones se evalúan mediante la ecuación siguiente, bajo la premisa de que existen las instalaciones adecuadas (y el personal adecuado para actuar rápidamente) para combatir incendios, y el drenaje adecuado para alejar el material inflamable del foco del incendio:

$$Q = 21.000 \cdot F \cdot A^{0,82} \quad (10)$$

Donde:

Q : Absorción de calor total (entrada) por la superficie humedecida [Btu/h]

F : Factor ambiental [Adim.]

A : Superficie o área mojada [pie^2]

Dependiendo del espesor del aislamiento térmico, el factor ambiental “ F ” puede variar desde 0,02 hasta 1,0 para equipos sin aislamiento (peor de los casos). En la Tabla A-3 de la norma internacional API 521 se enlistan una serie de valores de “ F ” que pueden utilizarse dependiendo del caso.

Superficie húmeda expuesta a incendio

La superficie húmeda A usada para calcular la absorción de calor para una situación práctica de incendio, se toma normalmente como la superficie total húmeda dentro de 25 pies por encima del nivel del suelo (ver Figura 2.7). El “nivel” usualmente se refiere al nivel del piso, pero también debe considerarse cualquier otro nivel al cual puede sostenerse un incendio de grandes proporciones, tal como una plataforma. En el caso de recipientes que contienen un nivel variable de líquido se considera el nivel promedio.

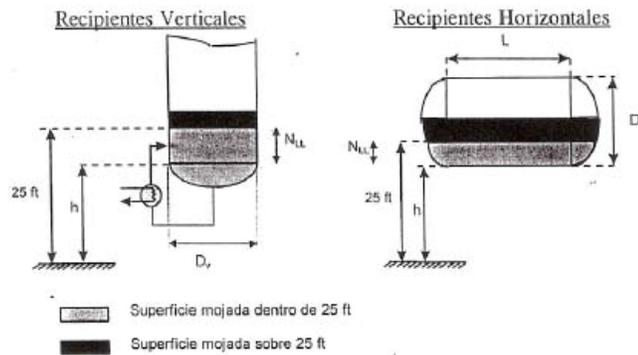


Figura 2.7: Superficie mojada en el cálculo de cargas de alivio en caso de incendio

Paso 2. Velocidad de alivio de vapores

Toda absorción de calor por exposición a un incendio se considera como calor latente y no se concede ningún crédito por la capacidad de calor sensible del fluido dentro del recipiente. La rata de alivio de vapores (W) se calcula con la fórmula:

$$W = \frac{Q}{\lambda} \quad (11)$$

Donde:

λ : Calor latente del líquido [Btu/b]

La estimación del calor latente de vaporización, deberá ser lo más realista posible, para lograr una estimación apropiada de los vapores a aliviar. Por eso, siempre es preferible una simulación del evento con un programa de simulación de

procesos. En caso de que el fluido se encuentre en la zona pseudo-crítica o por encima de esta, el párrafo A.6.1 API RP 521, recomienda usar un mínimo de 50 Btu/lb como calor latente.

2.4.3.2. FALLA DE CONTROL AUTOMÁTICO (INELECTRA, 1990)

Los dispositivos de control automático son generalmente actuados directamente por el proceso o indirectamente por medio de una variable de proceso, o sea, presión, flujo, nivel de líquido o temperatura. Cuando falla la señal de transmisión o el medio operativo, el dispositivo de control adoptará una posición totalmente abierta o totalmente cerrada de acuerdo con su diseño básico, aunque algunos dispositivos pueden ser diseñados para permanecer estacionarios en la última posición de control. Tales válvulas de control para “permanecer estacionarios”, sin embargo, tienden a moverse a la posición que favorece el proceso y esto debe tomarse en cuenta.

Sin embargo, al examinar un sistema de proceso en cuanto a causas potenciales de sobrepresión, se asume que cualquier dispositivo de control automático puede fallar en la posición abierta o cerrada independientemente de su acción ante la pérdida de su señal de transmisión o medio operativo.

Las siguientes fallas individuales de válvulas de control deberían incluirse en el análisis de sistemas de control para la determinación de los requerimientos de alivio de presión:

- a. Falla en la posición totalmente abierta de una válvula de control que normalmente deja pasar líquido desde una fuente de alta presión a un sistema con una presión más baja, seguido de la pérdida de nivel de líquido en el recipiente aguas arriba y flujo de vapor de alta presión solamente.
- b. Falla de una válvula de control en la posición cerrada en la corriente de salida de un recipiente o sistema.
- c. Una válvula de control que falla abierta con su desvío abierto al mismo tiempo. En este caso, la velocidad de alivio y el orificio de alivio de presión deben

basarse en la falla de la válvula de control con el desvío 50% abierto (basado en área) a 110% de la presión de diseño.

La falla aplica a recipientes que estén conectados por válvulas de control y que estén operando con una diferencia de presión apreciable. Durante esta falla ocurren los siguientes eventos (ver Figura 2.8):

- La válvula queda bloqueada en posición abierta.
- Se pierde el sello de líquido del recipiente V1.
- El gas que alimenta al recipiente V1 pasa al recipiente V2 donde debe ser venteado por la válvula SV-1.

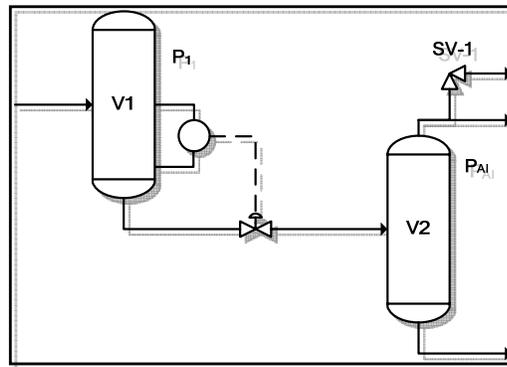


Figura 2.8: Representación gráfica de una falla de válvula de control

La presión de flujo crítico se calcula basándose en la presión aguas arriba de la válvula. Al flujo máximo permitido por la válvula de control se le sustrae el flujo normal de salida del tope del equipo aguas abajo de la válvula (V2). El flujo a aliviar es:

$$W = W_{CV} - W_{TOPE} \quad (12)$$

Donde:

W_{CV} : Flujo máximo a través de la válvula de control [lb/h]

W_{TOPE} : Flujo normal de salida del tope del equipo aguas abajo de la válvula [lb/h]

2.4.3.3. FALLA DE ENFRIAMIENTO EN CONDENSADORES (INELECTRA, 1990)

Se debe considerar la falla del flujo de agua de enfriamiento a cada condensador o enfriador individual. Normalmente no se concede ningún crédito por el efecto en un condensador de tubos y carcaza después de una falla de la corriente de enfriamiento, porque está limitada en el tiempo y depende de la configuración física de la tubería. Sin embargo, si el sistema de tuberías de proceso es anormalmente extenso y no aislado se debe considerar el efecto de la pérdida de calor a la atmósfera.

1. **Condensación total.** El requerimiento de alivio es el flujo total de vapor que entra al condensador.
2. **Condensación parcial.** El requerimiento de alivio es la diferencia entre los flujos de vapores de entrada y de salida a las condiciones de alivio. El flujo de vapores de entrada debe ser calculado en la misma base que se estableció en el renglón 1.

2.4.3.4. SALIDA BLOQUEADA (INELECTRA, 1990)

A continuación se muestra una representación gráfica de una torre con condensación parcial:

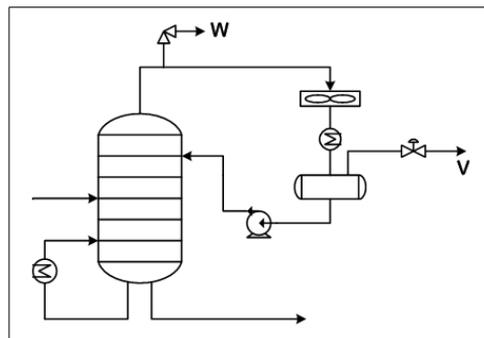


Figura 2.9: Representación de los flujos existentes en el caso de una salida bloqueada

En este caso, la carga de alivio se estima como los vapores que no pueden salir del sistema

$$W = V \quad (13)$$

Para equipos rotativos, se presentan los dos casos, en equipos sin transferencia de calor y en equipos con transferencia de calor:

1. **Bloqueo en equipos sin transferencia de calor.** En el caso de equipos centrífugos, se debe estimar el flujo correspondiente al diferencial en condiciones de alivio (ΔH_{ALIVIO}). En el caso de equipos recíprocantes, la válvula de alivio se instala en la línea de descarga. Para las bombas recíprocantes, la descarga de la válvula de alivio puede ir a la línea de succión o al recipiente desde donde succiona la bomba. Para los compresores, la línea de descarga está conectada al mecurrio.
2. **Bloqueo en equipos con transferencia de calor.** Se recomienda que la válvula de alivio se instale en la línea de salida del equipo para garantizar al menos, el flujo mínimo por los tubos. Si existen válvulas de bloqueo para cada paso, se debe instalar una válvula de alivio por paso.

i. Estimación de la carga de alivio por expansión térmica en líquidos

La válvula de alivio, del lado frío del intercambiador debe ser dimensionada por expansión térmica del líquido si la temperatura del medio de calentamiento no es suficiente para vaporizarlo cuando se alcance la presión de alivio. Para estimar la carga de alivio con la mejor aproximación se usa la siguiente ecuación

$$W = \frac{\beta \cdot Q}{500 \cdot SG \cdot C_p} \quad (14)$$

Donde:

β : Coeficiente cúbico de expansión térmica promedio entre T_1 y T_2 [$1/^\circ\text{F}$]

SG : Gravedad específica del líquido relativa al agua a 60°F

C_p : Capacidad específica a P_{Alivio} [$\text{Btu}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})$]

ii. Estimación de carga por generación de vapor por ebullición de líquido

Se asume que el fluido será evaporado totalmente. El máximo vapor generado por ebullición se calcula según:

$$W = \frac{Q_m}{\lambda} \quad (15)$$

2.4.3.5. RUPTURA DE TUBOS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR (INELECTRA)

La ruptura de tubos en intercambiadores de calor es uno de los escenarios más comunes que se presentan en el diseño de válvulas de alivio. Se tienen, en general, los siguientes dos casos:

a) Fluido de alta presión por el lado de la carcasa

b) Fluido de alta presión por los tubos

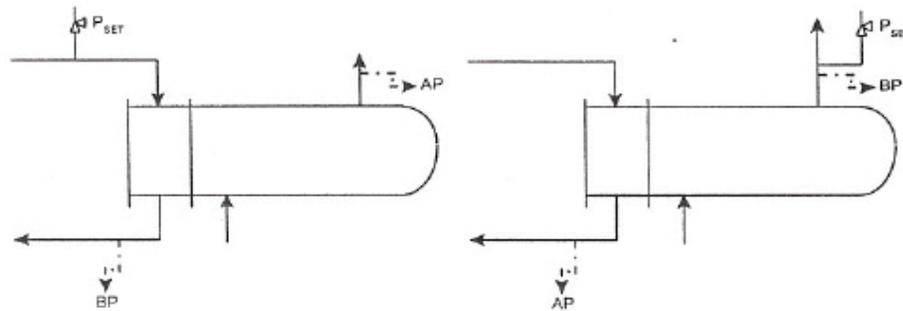


Figura 2.10: Ruptura de tubos en un intercambiador de calor

La norma API RP 521 sección 3.182 recomienda que la condición de presión de diseño sea $P_{DBP}/P_{DAP} \geq 2/3$. Bajo esta condición de diseño no se justifica la instalación de una válvula de alivio por ruptura de tubo en el lado de baja presión.

Durante la ruptura de un tubo, se considera que el fluido a alta presión, fluye en ambos sentidos dentro del tubo (o hacia afuera del tubo si el fluido de alta presión se encuentra en los tubos), esto implica que para la evaluación de la carga de alivio, debe considerarse dos veces el área de flujo.

Para estimar la carga y las condiciones de alivio, se aplica el procedimiento descrito a continuación:

Paso 1.- Estimar la fuerza impulsora para el flujo del fluido a través de la ruptura de tubo

Se debe identificar la presión que controla el flujo del fluido a través de la ruptura de tubo. Para esto, se determina la presión de flujo crítico (Ecuación 7) que es comparada con la presión de alivio ($P_{AL} = P_{SET} + \text{Sobrepresión (10\%)} + \text{Presión atmosférica, 14,7 psia}$). La presión mayor será la que controle el flujo del fluido

$$\text{Si } P_{CFR} \geq P_{AL} \Rightarrow \Delta P = P_1 - P_{CFR}$$

$$\text{Si } P_{CFR} < P_{AL} \Rightarrow \Delta P = P_1 - P_{AL}$$

Paso 2.- Determinación de las condiciones de flujo a través de la ruptura

Las condiciones de flujo a través de la ruptura se obtienen expandiendo adiabáticamente la corriente de alta presión hasta la presión que resulte mayor entre P_{CFR} y P_{AL} (llamada P_2).

Paso 3. - Cálculo de las cargas de alivio

En este caso se calculan los flujos de vapor y líquido resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones para obtener W_V , W_L , d_V y d_L :

$$W_V = 1134,6 \cdot D_V^2 \cdot \left(1 - 0,317 \cdot \frac{\Delta P}{P_1}\right) \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \rho_V} \quad (16)$$

$$W_L = 1134,6 \cdot D_L^2 \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \rho_L} \quad (17)$$

$$D_L^2 + D_V^2 = D^2 \quad (18)$$

$$X = \frac{W_V}{W_V + W_L} \quad (19)$$

Donde:

W_V : Flujo de vapor a través de una sección transversal [lb/h]

D_V : Diámetro del recipiente vertical [pie]

ΔP : $P_1 - P_2$ [psi]

ρ_V : Densidad del vapor [lb/pie³]

W_L : Flujo de líquido a través de una sección transversal [lb/h]

D_L : Diámetro interno de la tubería ocupado por líquido [pie]

ρ_L : Densidad del líquido [lb/pie³]

Paso 4.- Cálculo de las condiciones de alivio

La temperatura y condiciones de alivio se obtienen expandiendo la corriente que sale por la ruptura adiabáticamente hasta P_{AL} .

2.5. MECHURRIOS

El *mechurrio* es un componente clave del sistema de emergencia con alivio cerrado. Normalmente consiste en una estructura vertical elevada con una llama en el tope y puede ser encontrada en plataformas petroleras, refinerías, plantas químicas y vertederos. Son utilizados para la quema de residuos de gas o líquidos inflamables y gases liberados por las válvulas de seguridad que protegen a los equipos de la planta. En la producción de petróleo, refinerías y plantas químicas, su propósito principal es el de actuar como un dispositivo de seguridad para proteger a los recipientes o tuberías evitando el exceso de presión debido a alguna contingencia.

El mechurrio provee un medio de disposición seguro de las corrientes de vapores provenientes de esas instalaciones, quemándolos bajo condiciones controladas de modo que los equipos adyacentes o el personal no estén expuesto a peligro, al mismo tiempo que se satisfacen los requerimientos de control de contaminación y de relaciones públicas. Con el fin de mantener el sistema funcional, una pequeña cantidad de gas es quemada continuamente, de modo que el sistema

siempre está listo para su objetivo principal. La emisión continua de gas también ayuda a diluir las mezclas y lograr una combustión completa.

Los sistemas de mechurrio se diseñan para manejar el alivio más grande desde válvulas de seguridad, alivios de vapores, y desde otros sistemas de emergencia que resulten de la contingencia de diseño. Normalmente se usa como base la contingencia sencilla más grande.

2.5.1. TIPOS DE MECHURRIOS

Básicamente predominan tres tipos de mechurrios, el mechurrio elevado, el mechurrio al nivel del suelo y el mechurrio tipo pozo quemador. Aunque los tres diseños básicos difieren considerablemente en costos requeridos de operación, la selección se hace basándose principalmente sobre consideraciones de contaminación y de relaciones públicas, tal como humo, luminosidad, contaminación del aire, factores de ruido y espaciamiento. En la Figura 2.11 se presentan algunas imágenes de los mechurrios más usados en la actualidad.

2.5.1.1. MECHURRIOS ELEVADOS

El mechurrio elevado, con el uso de inyección de vapor y el diseño efectivo de la boquilla puede obtenerse libre de humo y de una luminosidad razonablemente baja hasta cerca del 20% de la carga máxima de alivio. La inyección de vapor introduce una fuente de ruido y es usualmente necesario un compromiso entre la eliminación del humo y el ruido. Si es adecuadamente elevado, este tipo de mechurrio tiene las mejores características de dispersión para productos de combustión malolientes o tóxicos, pero los problemas visuales y de contaminación por ruido pueden producir inconvenientes para las relaciones públicas. Los costos requeridos de inversión y de operación son relativamente altos y una apreciable área de la planta puede resultar no apta para la ubicación de equipos en la misma, debido a consideraciones de calor radiante disipado.



Figura 2.11: Tipos más comunes de mechurrios existentes en la actualidad

A pesar de sus desventajas el mechurrio elevado es el que se escoge generalmente o bien para carga total del mechurrio o para manejar alivios para capacidad excedida, en conjunción con un mechurrio de chorro múltiple a nivel del suelo. Para la mayoría de las aplicaciones el tipo elevado constituye el único medio aceptable de quemar gases sucios, tal como gases con una alta concentración de hidrocarburos no saturados o de sulfuro de hidrógeno, o que tienen productos de combustión altamente tóxicos.

2.5.1.2. MECHURRIOS A NIVEL DEL SUELO

Existen varios diseños de mechurrios a nivel del suelo, el tipo que ha sido usado casi exclusivamente es el mechurrio de chorro múltiple.

Generalmente puede lograrse la operación sin humo, esencialmente sin ningún problema de ruido o de luminosidad, con tal que no se exceda la velocidad de gas de diseño del mechurrio. Sin embargo, puesto que la llama está cerca del nivel del suelo,

la dispersión de los alivios de la chimenea es mala y esto puede resultar en una grave contaminación del aire o peligro si los productos de combustión son tóxicos o en el caso de que la llama se apague. Los costos de capital, de operación y de mantenimiento requeridos, son altos.

El mechurrio de chorro múltiple es adecuado para gases no contaminados (es decir, en casos en que es improbable el alivio de concentraciones tóxicas o malolientes por combustión), cuando los factores de contaminación visual o por ruido son críticos. No debe usarse en la dirección del viento de áreas residenciales adyacentes. Generalmente, no es práctico instalar mechurrios de chorro múltiple lo suficientemente grandes para quemar la carga máxima de alivio y el arreglo común es una combinación con un mechurrio elevado con sobrecapacidad. Este último no está provisto normalmente con inyección de vapor de agua, y la formación de humo se acepta durante el pequeño número de alivios mayores.

2.5.1.3. MECHURRIOS TIPO POZOS QUEMADORES

El pozo quemador es de construcción sencilla con bajos costos de inversión y de operación y puede manejar hidrocarburos en estado líquido o de vapor. Su uso está usualmente limitado por requerimientos de espacio y de formación de humo, y se aplica solamente en lugares remotos donde esencialmente no existen restricciones de contaminación.

2.5.2. COMBUSTIÓN DE CORRIENTES DE H₂S (EXXONMOBIL DESING PRACTICES)

La descarga continua de corrientes concentradas de H₂S debe ser segregada en un sistema de mechurrio separado para limitar el alcance de los problemas de ensuciamiento y taponamiento. Si se provee un sistema de mechurrio especial de H₂S para alivios continuos, los alivios de H₂S concentrado procedentes de válvulas de seguridad deben conectarse a éste en el lugar de conectarlo al sistema de mechurrio

regular. Debido a la naturaleza del H_2S deben planificarse inspecciones y lavados frecuentes de los mechurrios de H_2S para remover costra y productos corrosivos.

Preferentemente, el sistema de mechurrio de H_2S debe consistir en un cabezal y una línea separada, dirigidos hacia arriba al lado de la chimenea convencional de mechurrio elevado, compartiendo la misma estructura, pilotos y encendedores. Sin embargo, el cabezal de H_2S puede ser conectado al tambor de sello de mechurrio regular si existen problemas especiales de diseño mecánico asociados con una chimenea separada, por ejemplo, en el caso de un mechurrio que tiene que ser desmantelado para mantenimiento. La elevación del mechurrio debe ser lo suficiente para satisfacer los requerimientos de contaminación atmosférica y de concentración a nivel del suelo del dióxido de azufre producido.

A menudo se experimentan problemas de olor y de contaminación por combustión incompleta cuando se descarga H_2S por el mechurrio. Cuando se espera que tales consideraciones sean críticas, los diseños de sistemas de mechurrio deben incluir una conexión de gas combustible y un dimensionamiento del equipo suficiente para manejar un volumen igual de gas combustible cuando se descarga H_2S por el mechurrio a la velocidad de diseño. Donde la descarga de H_2S por el mechurrio es intermitente y el flujo de gas combustible diluyente es continuo, entonces se puede necesitar una inyección de vapor de agua en la base del mechurrio para reducir la formación de humo.

Se requiere protección contra el retroceso de la llama para sistemas de mechurrio que descargan H_2S , sea por medio de un sello de agua o con una purga de gas continua. Si se usa un sello de agua, se aplican unos requerimientos especiales a la disposición del agua de sello efluente. En el caso de un sistema de mechurrio para H_2S , el cual maneja un flujo de H_2S que es ininterrumpido durante el período en que la planta esté en operación y que solamente se detiene durante una, entonces no se requiere protección contra el retroceso de la llama. Sin embargo, se requieren conexiones de vapor de agua y de gas inerte para permitir la purga del mechurrio durante arranques y paradas.

2.5.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BOQUILLA DEL MECHURRIO

Como una guía general, el dimensionamiento del diámetro de las boquillas de servicios tales como inyección de vapor, inyección de agua e inyección de gas pueden hacerse de acuerdo con las recomendaciones de API RP 521:

“El diámetro de la chimenea del mechurrio se dimensiona generalmente sobre una base de velocidad, aún cuando la caída de presión debe verificarse. Caídas de presión tan altas como 2 psi (14 KPa) han sido usadas en la boquilla. Dependiendo de la relación de volumen del flujo de quema máximo concebible, el tiempo probable, frecuencia y duración de esos flujos y de los criterios de diseño establecidos para el proyecto para estabilizar la quema, puede ser conveniente permitir una velocidad de hasta 0,5 Mach para un flujo pico, de corta duración, infrecuente, manteniendo 0,2 Mach para las condiciones más normales y posiblemente más frecuentes”.

El número de Mach puede calcularse de la siguiente ecuación:

$$Mach = 1,702 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{W}{P_{boq} \cdot D_{boq}^2} \sqrt{\frac{T}{k \cdot M}} \quad (20)$$

Donde:

Mach: Relación de velocidad del gas a velocidad sónica en ese gas [Adim.]

P_{boq} : Presión del gas justo dentro de la boquilla [psia]

D_{boq} : Diámetro interno del aro de retención de llamas [pie]

Para una evaluación, donde el diámetro y las condiciones de alivio son conocidos, se puede reacomodar la Ecuación 20 para calcular el flujo máximo que puede manipular el mechurrio utilizando un *número de mach* igual a 0,5, que como se indicó en el párrafo anterior, es empleado para eventos poco frecuentes, tales como las situaciones de contingencia.

$$W = \frac{Mach \cdot P_{boq} \cdot D_{boq}^2}{1,702 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{T}{k \cdot M}}} \quad (21)$$

2.6. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ALIVIO

Actualmente, existen varias herramientas computacionales en el mercado, capaces de facilitar una evaluación del sistema de alivio, los más relevantes son INPLANT, VISUAL FLOW y FLARE.

- **INPLANT (Invensys)**. Simulador que permite diseñar, evaluar y/u optimizar instalaciones de flujo de fluidos en proceso industriales. Puede utilizarse para dimensionar líneas, determinar la potencia de bombas y compresores, predecir temperaturas, presiones velocidades y flujos. Permite el cálculo de tuberías con accesorios y cálculos en una fase o multifase (*Simsco-Esscor, 2008*).
- **VISUAL FLOW (Invensys)**. Es un simulador que provee una herramienta avanzada para diseño, documentación, y modelado de sistemas de seguridad, redes de alivio de presión, y sistemas de flujo de fluidos en general (*Simsco-Esscor*).
- **FLARE (Shell)**. Programa que tiene aplicaciones en el diseño y evaluación de sistemas de alivio y trabaja solo con gases.

2.6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA FLARE (*SUPERINTENDENCIA DE DISEÑO Y NUEVOS DESARROLLOS, 2001*)

El programa FLARE determina la relación entre la contrapresión desarrollada y la presión de disparo de una válvula de seguridad durante una contingencia. Basándose en esta relación, el programa propone un tipo de válvula a ser empleada. Con esta información, el usuario puede verificar si la válvula instalada es adecuada y,

en caso contrario, determinar los cambios requeridos para cumplir con los criterios de contrapresión.

Si se alcanza las condiciones de flujo sónico en un tramo de tubería, el programa lo indica. Aunque no es un resultado explícito del programa, también es posible verificar la relación contrapresión superimpuesta / presión de disparo.

Para la simulación FLARE se realizan las siguientes suposiciones:

- Relación de calores específicos $K=1$. Esta suposición es correcta si se asume flujo isotérmico.
- El programa crea un gradiente de temperaturas, a partir de la temperatura de la descarga y la temperatura ambiente. Se desconoce que consideraciones efectúa para el cálculo de este gradiente.

El programa requiere dos grupos de datos para el cálculo de la contrapresión, estos son:

- **Datos mecánicos:** que describen la configuración del sistema de alivio, tales como la identificación del tramo de tubería (representado por un nodo de entrada y uno de salida), su diámetro, longitud real y longitud equivalente. Es de hacer notar que el programa solo realiza cálculos de caída de presión para líneas de tubería, la caída de presión causada por otros elementos, como tambores de sello, separadores o topes de mechurrio, deben ser convertidas a una longitud equivalente de tubería (Figura 2.12). Además, se requiere la presión aguas arriba de la boquilla (tip) del mechurrio y la temperatura ambiental.

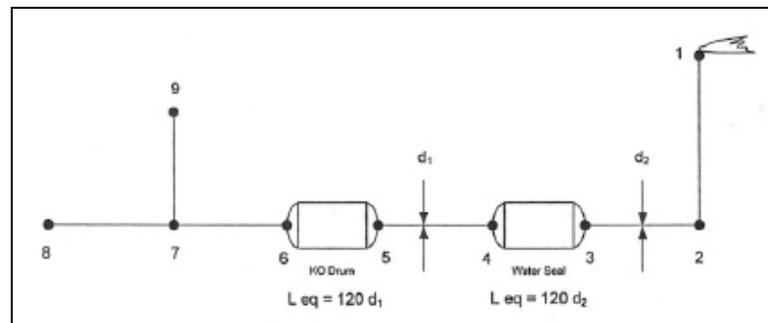


Figura 2.12: Representación de los nodos para el empleo del programa FLARE

- ***Datos de las contingencias.*** Este grupo incluye la información referente a las contingencias por las se puede activar una válvula de seguridad, por lo tanto, se tiene que indicar el código asociado a la contingencia, el flujo másico, el peso molecular promedio y la temperatura del gas, así como la presión de disparo de cada válvula de seguridad.

2.6.2. JUSTIFICACIÓN DEL USO DEL SIMULADOR FLARE

A pesar de que el simulador FLARE es poco amigable en su interacción con el usuario al no poseer una ventana gráfica ni herramientas adicionales, goza de una gran ventaja sobre el resto de los simuladores comerciales más recientes y es que con una sola corrida se puede representar todo el sistema de alivio de la industria (sea refinería o petroquímica). La red de alivio de una refinería es bastante amplia y compleja, las válvulas que descargan al sistema provienen de varias unidades de proceso, por lo tanto existen múltiples válvulas que se activan con una gran variedad de contingencias, es claro entonces, que no todas las válvulas que descargan al sistema de alivio se activan en un mismo momento, para lograr esto con otros simuladores, se deben realizar múltiples simulaciones separadas, donde cada simulación representaría una contingencia en particular.

Para fines prácticos, se desea tener un modelado del sistema de alivio en una única simulación, ya que de esta manera se tendría un archivo fácilmente modificable en caso de realizarse algún cambio al sistema de alivio de la refinería. Esto actualmente se puede hacer únicamente con el simulador FLARE.

2.7. INTRODUCCIÓN AL DIBUJO ISOMÉTRICO

La palabra isométrico significa "de igual medida" y proviene del prefijo "isos" que significa igual y de la palabra métrico que expresa o significa "medida". Por ende, isométrico se refiere a aquel dibujo tridimensional que se ha realizado con los ejes inclinados formando un ángulo de 30° con la horizontal (*Castellanos, 2008*).

Una de las grandes ventajas del dibujo isométrico es que se puede realizar el dibujo de cualquier modelo sin utilizar ninguna escala especial, ya que las líneas paralelas a los ejes se toman en su verdadera magnitud. La base del dibujo isométrico es un sistema de tres ejes que se llaman "ejes isométricos" que representan a las tres aristas de un cubo, que forman entre sí ángulos de 120° (*ob. cit.*).

Los planos isométricos para tuberías, comenzarán a ser realizados solamente después de que se haya completado la construcción, revisión e inspección del modelo final base o donde los dibujos ortográficos de tuberías hayan sido inspeccionados y estén listos para ser emitidos como Aprobado Para Construcción, "APC" (*PDVSA, Manual de Ingeniería de Diseño. Procedimientos Isométrico Manual, 1997*).

En un plano isométrico se prefiere que la orientación de la flecha del Norte marque las 2 en punto; se aceptará que marque las 10 en punto cuando existan menos coincidencias o solapados. Las líneas indicadas en más de un plano isométrico, deberán indicarse en lo posible, con la misma orientación del norte. Igualmente, en el plano isométrico se debe indicar sólo el diagrama de flujo donde se origina la línea (*ob. cit.*). En el Apéndice 3 se pueden apreciar algunos planos isométricos elaborados como parte fundamental de éste Trabajo Especial de Grado.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA GENERAL

Con el propósito de realizar la evaluación del sistema de alivio de gas ácido de la Refinería de Amuay, se trazó la estrategia metodológica mostrada en la Figura 3.1, mostrada a continuación y detallada en los párrafos posteriores.

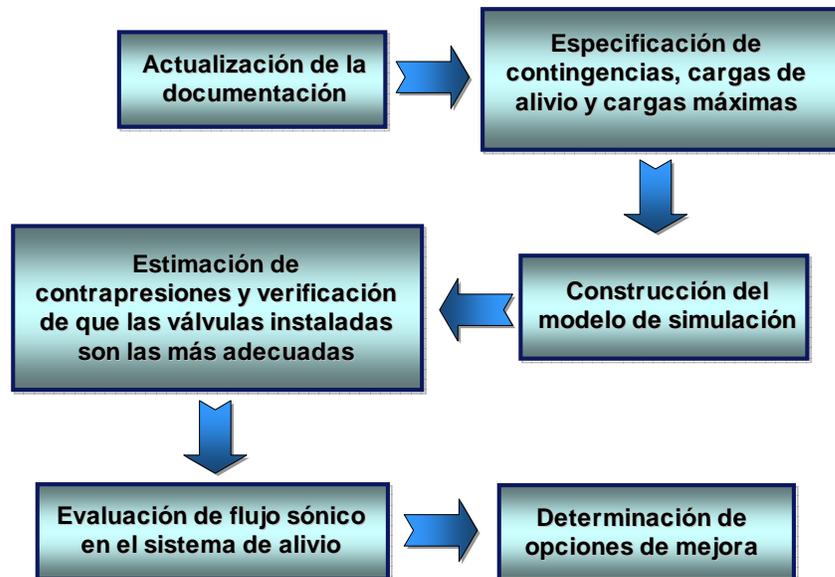


Figura 3.1: Diagrama de la metodología planteada

3.1. ACTUALIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

En primer lugar, se realizó una revisión global de la bibliografía recomendada en todo lo relativo a sistemas de alivio haciendo especial énfasis en las válvulas de

seguridad. Seguidamente, se revisó la información técnica disponible sobre el sistema de alivio de la Refinería de Amuay. Esto involucró:

- Estudios y evaluaciones previas que han sido formalmente documentados en memorándums e informes técnicos, en las cuales se identifican las válvulas que para el momento de su evaluación estaban instaladas en el sistema de alivio ácido.
- Las hojas de especificación disponibles de las válvulas de seguridad.
- Los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI) y los planos isométricos disponibles donde se ubican tales válvulas.
- Información documentada sobre las válvulas de seguridad de la refinería suministrada por el área de Inspección de válvulas de seguridad de la Gerencia de Ingeniería de Instalaciones (GII). De acá se pudo extraer información valiosa con respecto a las características de las válvulas instaladas.

Se determinó la vigencia de los cambios realizados en el sistema de alivio, localizando las válvulas de seguridad en cada unidad de proceso y validando los datos que las mismas presentan en la placa (etiqueta, equipo protegido y presión de disparo), los casos donde la información suministrada se desviaba de la realidad fueron reportados para su posterior corrección. Finalmente, se elaboró un sumario de las válvulas de seguridad instaladas, dicha información involucra, para cada válvula, el equipo protegido, la presión de disparo, el tamaño, tipo, marca y modelo, de ésta manera fueron identificadas todas válvulas de seguridad que descargan actualmente al sistema de alivio de gas ácido de la refinería.

Con ayuda de los DTI se identificaron las líneas de tubería que llevan las descargas de las válvulas de seguridad identificadas anteriormente hasta el mechurrio en operación, esto facilitó la localización del plano isométrico de dichas líneas de proceso. Fue validada la vigencia de los planos disponibles, actualizándose aquellos que no correspondían a lo observado en el área. De igual manera, para los tramos de tubería que no disponían de un plano isométrico, se procedió a su respectivo levantamiento manual dibujándose posteriormente en la herramienta de dibujo asistido por computador AUTOCAD, haciendo especial énfasis en las dimensiones de

las tuberías y los accesorios existentes presentes en ese segmento, este plano representará de manera provisional al tramo analizado hasta que se elabore el adecuado según las normas que lo rigen. Así quedaría recopilada la información referente a las tuberías del sistema de alivio de gas ácido, cuyos datos servirán además como base para el posterior montaje del modelo de simulación.

3.2. ESPECIFICACIÓN DE CONTINGENCIAS, CARGAS DE ALIVIO Y CARGAS MÁXIMAS

Con apoyo del personal de Ingeniería de Procesos se identificaron aquellas contingencias que pueden ocurrir en las unidades de proceso cuyos efluentes son descargados al sistema de alivio de gas ácido de la refinería, detectándose principalmente la presencia de las contingencias:

- Salida bloqueada
- Falla de control automático
- Incendio
- Falla de energía eléctrica
- Falla de agua de enfriamiento

Las contingencias correspondientes a *salida bloqueada* y *falla de control automático* se agruparon como “fallas operacionales” para hacer más práctica su inclusión en el sumario final de las válvulas. De igual manera, con el apoyo del personal encargado de las unidades de proceso se logró especificar las cargas de alivio de cada válvula de seguridad, para una cantidad importante de los casos se validó el valor de carga de alivio referencial por no existir modificaciones en esas áreas, sin embargo, para los sectores del sistema de alivio donde se efectuaron cambios se determinaron las cargas de alivio siguiendo el procedimiento de cálculo de la norma internacional API 521.

Posteriormente se calcularon las cargas totales simultáneas, las cuales están representadas por la sumatoria de las cargas de alivio particulares de aquellas

válvulas que son activadas al mismo tiempo durante una contingencia. A las condiciones de temperatura, peso molecular y relación de calores específicos de las cargas máximas simultáneas más altas, se estimó el flujo de diseño que podrían procesar los mechurrios 2 y 3 mediante la Ecuación 21. De esta manera se pudo determinar que tan cercana está la carga de alivio total simultánea con respecto a su valor de diseño. Por otro lado, también se analizó la velocidad de los flujos máximos simultáneos en la boquilla de cada mechurrio comparándose con el valor de diseño sónico que se puede desarrollar en las mismas.

3.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Partiendo de los planos isométricos obtenidos, se elaboraron los *diagramas de nodos*, donde fue representado de manera esquemática el sistema de alivio de gas ácido, indicando la salida de flujo de cada válvula, su llegada al mechurrio en operación y todos los cambios de diámetro con un nodo. De esta manera, fue definido cada tramo de tubería de diámetro constante con un nodo de salida y uno de llegada (necesario para la simulación).

Se calculó la longitud equivalente de todos los tramos de tubería, definidos en fase anterior, siguiendo el modelo de cálculo del manual de diseño de procesos “Flujo en Fase Líquida” (MDP-02-FF-03), los valores de la constante “K” para los distintos accesorios fueron extraídos del libro “Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías” por Crane.

Una vez actualizada la información pertinente e identificados los nodos de los tramos de tubería y su correspondiente longitud (real y equivalente) se procedió al montaje del modelo de simulación del sistema de alivio mediante el empleo del programa FLARE, considerando todas las contingencias analizadas.

3.4. ESTIMACIÓN DE CONTRAPRESIONES

La ejecución del modelo de simulación permitió determinar la contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad para todas las contingencias consideradas. Luego de analizar con detalle los resultados obtenidos, se pudo determinar si la válvula es la más adecuada para el servicio dependiendo de las contrapresiones estimadas.

3.5. EVALUACIÓN DE FLUJO SÓNICO EN EL SISTEMA DE ALIVIO

Como resultado de la simulación, también se pudo evaluar la presencia de flujo sónico en las tuberías que conforman el sistema de alivio. Esto permitió realizar las propuestas necesarias para evitar ese suceso en el momento en que las válvulas de seguridad estén descargando.

3.6. DETERMINACIÓN DE OPCIONES DE MEJORA

Finalmente se analizaron las limitaciones que tiene el actual sistema de alivio, tomando en consideración las contrapresiones fuera del rango permitido y lo referente a alertas de flujo sónico presentes en algunas descargas hacia el sistema, como ya fue mencionado, estas alertas procedieron del análisis de los resultados de la simulación con el programa FLARE. Luego se establecieron y jerarquizaron las acciones de mejora en el sistema de alivio, esto básicamente constituyó, en el reemplazo de válvulas de seguridad y/o de tramos de tuberías, dándole prioridad a la opción que brinde más seguridad a la refinería.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el presente Trabajo Especial de Grado, así como el análisis de los mismos:

4.1. ACTUALIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

4.1.1. HOJAS DE ESPECIFICACIÓN DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Una *hoja de especificación* (data sheet) es un documento que resume las condiciones de diseño, de operación y otras características importantes de un componente (tambor, torre, válvula, etc) con suficiente detalle. En el caso de las válvulas de seguridad, se indica la información referente a la carga de alivio máxima que se puede procesar así como el resto de las especificaciones del flujo aliviado, tales como peso molecular (o densidad si se diseña para la descarga de fluido líquido), temperatura de alivio, presión de disparo, presión de calibración, etc. Asimismo, se indican las dimensiones de la válvula y las condiciones máximas de operación que puede soportar. Por lo tanto, es importante que ésta información esté disponible en todo momento.

Luego de la revisión de la documentación disponible sobre las válvulas de seguridad instaladas en el sistema de alivio de gas ácido de la refinería, se logró detectar la ausencia de 13 hojas de especificación de las 70 válvulas de seguridad instaladas, lo cual implica que el 19% de las válvulas no poseen hojas de especificación. Las data sheet faltantes corresponden principalmente a las plantas Hidrodesulfuradora 2 (HDAY-2), Fraccionadora de Naftas 3 (NFAY-3) y la unidad

MEROX del complejo HDS, y pueden ser visualizadas en la Tabla 4.1 mostrada a continuación:

Tabla 4.1: Válvulas de seguridad con ausencia de hoja de especificación

UNIDAD	VÁLVULAS DE SEGURIDAD
FMAY-1/2	SV-20013
NFAY-3 / MEROX DE HDS	SV-13001, SV-13016, SV-13019, SV-13020, SV-13021
HDAY-2	SV-14004, SV-14005, SV-14015, SV-14016, SV-14019
HDAY-3	SV-15004
HDAY-4	SV-16004

Todas las data sheet localizadas fueron organizadas y anexadas al documento técnico que fue entregado a la empresa luego de la culminación del trabajo. Por las razones antes expuestas, es necesaria la pronta elaboración de las hojas de especificación faltantes.

4.1.2. ESPECIFICACIONES DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Como se pudo apreciar en la revisión bibliográfica, las válvulas de seguridad tipo convencional y balanceada son muy similares físicamente, por lo que se hace necesaria su diferenciación mediante colores. En el CRP las válvulas convencionales deben estar pintadas enteramente de color amarillo, mientras que las balanceadas de amarillo en el cuerpo (parte inferior) y de rojo en el bonete (parte superior).

De la inspección visual realizada en campo, se logró detectar que las válvulas SV-19033, SV-19034, SV-19037 y SV-19038 pertenecientes a las unidades Regeneradoras de Mea 1 y 2 (FMAY-1/2) y la SV-5027 de la planta Fraccionadora de Naftas 4 (NFAY-4) no están pintadas de acuerdo al código de colores del CRP, todas estas válvulas son balanceadas y en la actualidad están pintadas completamente de amarillo, esto podría originar confusión al momento de tipificar la válvula y dada la diferencia operacional tan significativa de ambas se podría generar errores mayores

al momento de la evaluación, lo que provocaría resultados incorrectos que llevaría a acciones que podrán generar una situación de riesgo.

Cada válvula de seguridad instalada en el área posee una placa donde son señalados los datos básicos de las mismas, éstos son: etiqueta de la válvula, equipo protegido y presión de disparo, en el ejemplo mostrado en la Figura 4.1, se indica que la válvula de seguridad con la etiqueta SV-15004 está ubicada en la unidad Hidrodesulfuradora 3 (HDAY-3), protege al compresor C-301, posee una presión de disparo de 1000 psig y fue calibrada el 21 de febrero de 2000.

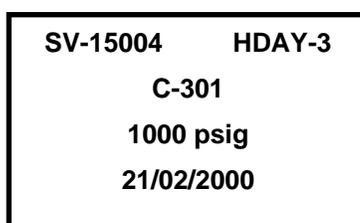


Figura 4.1: Ejemplificación de una placa de una válvula de seguridad en el campo

Según la inspección visual realizada en el campo existen válvulas de seguridad cuya placa indica erróneamente la protección a un equipo que no es el indicado, esto es grave ya que se está suministrando una información falsa de seguridad a un equipo que tal vez no posee válvula de alivio, lo cual podría provocar acciones que generen, igualmente, una situación de riesgo. Los casos indicados se muestran a continuación:

Tabla 4.2: Válvulas de seguridad que presentan indicación incorrecta respecto al equipo protegido

UNIDAD	ETIQUETA VÁLVULA	EQUIPO PROTEGIDO	
		PLACA DEL ÁREA	CORRECTO
FMAY - 1/2	SV-19019	D-711	D-716
	SV-19038	C-701 A	FIL-703
	SV-19041	D-711	D-711/D-716
	SV-19044	RECUPERADORA DE MEA 1	FIL-705
NFAY 3 / MEROX	SV-13008	DR-1090 A	R-1090 A
	SV-13011	DR-1090 B	R-1090 B

4.1.3. SUMARIO DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD QUE DESCARGAN AL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO

Luego de validada la información de cada válvula de seguridad instalada en el sistema de alivio de gas ácido se procedió a su agrupación en forma tabular. Dicha información está englobada por unidades de proceso, destacando para cada válvula, el equipo al cual protege, su presión de disparo, tamaño, tipo, marca y modelo. El sumario puede observarse en la Tabla 7.1 perteneciente al Apéndice 1. En esta tabla, se aprecia un dato resaltante y es que la válvula SV-19029 de FMAY-1/2, y las válvulas SV-5024, SV-5025 y SV-5027 pertenecientes a NFAY-4, poseen un tamaño de $1^{1/2}G2^{1/2}$ que, según el listado del fabricante, no existen, sin embargo, este tamaño es el que aparece reflejado en las hojas de especificación de las mismas y en los *planos de tuberías e instrumentación* (PID, según sus siglas en inglés) donde éstas se encuentran ubicadas, asimismo éste tamaño fue validado en el área a través de su respectiva medición.

4.1.4. ELABORACIÓN DE DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE ALIVIO Y PLANOS ISOMÉTRICOS

Para una mejor localización física de las válvulas de seguridad en el sistema de alivio fue elaborado un *diagrama simplificado del sistema de alivio vía mechurrios 2 y 3 de la Refinería de Amuay*, el cual se muestra en la Figura 4.2 presentada en la página siguiente. En este diagrama se pueden observar todas las válvulas de seguridad que descargan al cabezal que dirige sus efluentes a los mechurrios 2 y 3 de la refinería, estas válvulas se han agrupado según la unidad de proceso a la cual pertenecen ilustrando al subcabezal de la planta y a los equipos protegidos por cada válvula.

Adicional a las válvulas de seguridad y los cabezales, puede observarse en la Figura 4.2 el lugar por donde ingresa el gas que es inyectado constantemente por la

vía del cabezal principal del mechurrio para mantener siempre la llama encendida de tal manera que el mechurrio pueda en todo momento, cumplir su función principal.

La mayoría de los planos isométricos del sistema de alivio fueron validados, sin embargo, para una cantidad importante tramos de tubería se procedió a la actualización de las partes que sufrieron modificaciones debido a que los planos disponibles datan de años antes de que éstas se hayan efectuado. De igual manera, existe otra porción de planos isométricos que no están disponibles, todos ellos fueron dibujados con la utilización de la herramienta de dibujo computarizado AUTOCAD señalando los datos de longitud, diámetro y accesorios presentes. Los casos más críticos están representados por algunas líneas de descarga de las válvulas pertenecientes a las unidades Regeneradoras de Mea 1 y 2 (FMAY-1/2), Despojadoras de Aguas Agrias 1 y 2 (SWAY-1/2) y las Hidrodesulfuradoras 3 y 4 (HDAY-3/4). En el Apéndice 3 se muestran algunos de los planos isométricos elaborados, el mismo se puede apreciar al cabezal principal del mechurrio, a las líneas de descarga de las válvulas de seguridad pertenecientes a SUAY-3 y a la descarga de la válvula de seguridad SV-37023 perteneciente a ALAY.

Hay que recalcar que el total de planos isométricos del sistema de alivio fue de ciento nueve (109), esto involucra a los validados, actualizados y dibujados, los cuales fueron anexados enteramente al documento interno entregado a la empresa, acá solo se muestran unos pocos por motivos de privacidad, y con el fin de ilustrar el trabajo realizado.

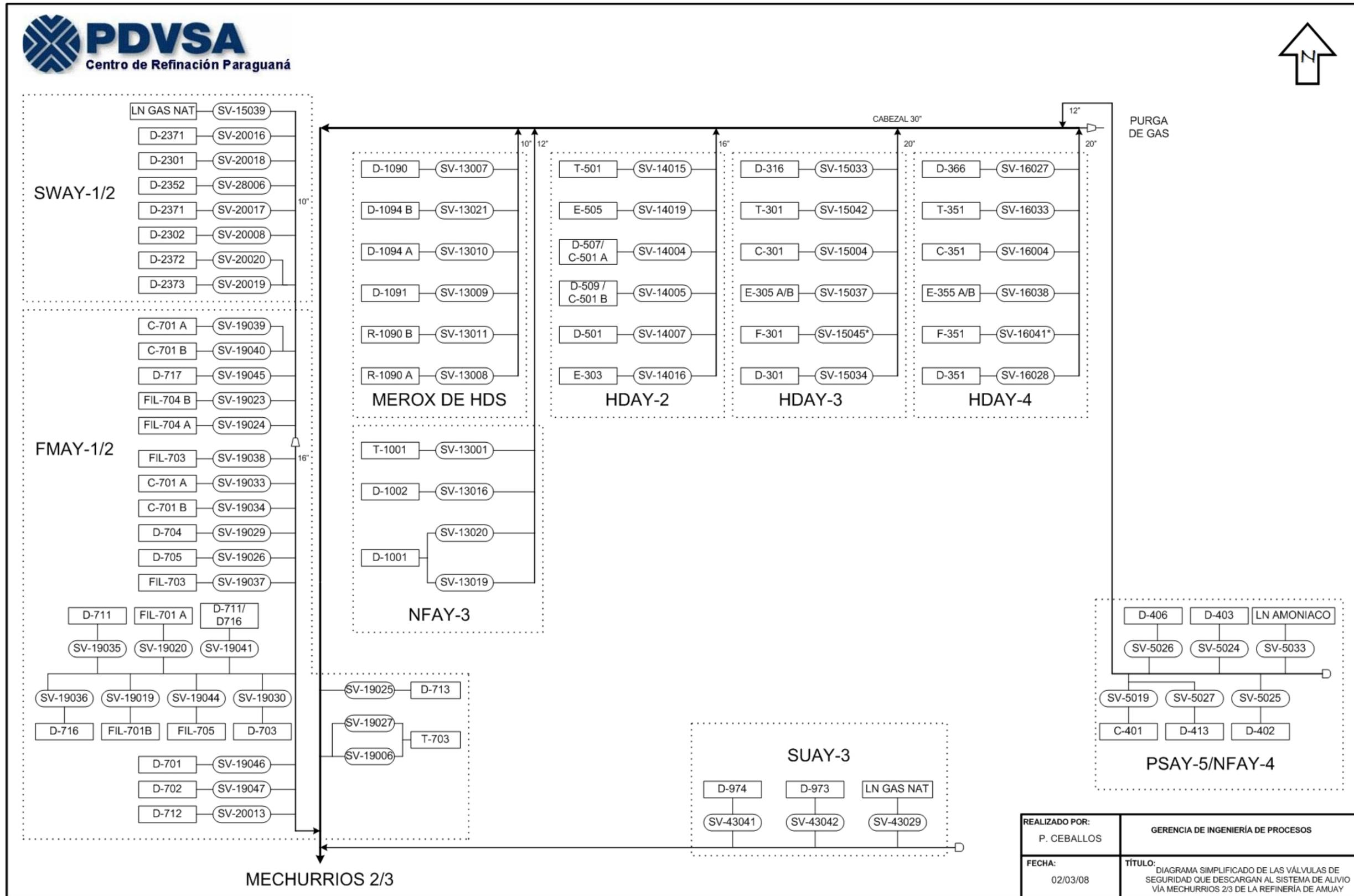


Figura 4.2: Diagrama simplificado de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio vía Mechurrios 2 y 3 de la Refinería de Amuay

4.2. ESPECIFICACIÓN DE CONTINGENCIAS, CARGAS DE ALIVIO Y CARGAS MÁXIMAS

4.2.1. CARGAS DE ALIVIO

Se logró la identificación de las distintas contingencias que se pueden presentar en las unidades de proceso, que son precisamente aquellas que provocan la activación de las válvulas de seguridad. Las principales contingencias evaluadas, con apoyo del equipo de Ingeniería de Procesos, fueron:

- Falla operacional
- Incendio
- Falla de agua de enfriamiento
- Falla de energía eléctrica

La falla operacional incluye, como su nombre lo indica, problemas en la operación, tales como una *salida bloqueada* o una *falla de control automático*, explicadas en el Capítulo II.

Es de apreciarse en la Tabla 7.2 del Apéndice 2 que las contingencias por las que se pueden activar las válvulas que descargan al sistema de alivio vía mechurrios 2 y 3 están asociadas, en su mayoría, a incendios o fallas operativas. La ocurrencia de una falla por agua de enfriamiento o una falla de energía eléctrica afectaría a muy pocos de los equipos involucrados en las descargas hacia el cabezal de mechurrio de ácido (no necesariamente equivalente al otro cabezal de mechurrio), ésto proviene de un análisis de los procesos que se llevan a cabo en las unidades implicadas por el área de Ingeniería de Procesos, el cual finalizó en la ausencia de las emergencias señaladas.

De igual manera, se calcularon las cargas de alivio de cada válvula para estas contingencias, partiendo de las ecuaciones presentadas en la norma internacional API 520, estas cargas son presentadas en la Tabla 7.2 (Apéndice 2). Esto permitió la estimación de las cargas máximas que son enviadas a los mechurrios con la simple sumatoria de las cargas de alivio de las válvulas que son activadas por una misma

contingencia, las condiciones de peso molecular y temperatura se estimaron como el promedio ponderado de las cargas particulares de cada válvula.

4.2.2. CARGAS MÁXIMAS QUE PROCESA EL MECHURRIO 3

Las contingencias que están involucradas en las cargas de alivio más altas enviadas al mechurrio están resumidas en la Tabla 4.3. Por lo general, se consideran las contingencias de incendio y falla de agua de enfriamiento como eventos remotos con una probabilidad muy baja de que ocurran. Por otro lado, hay que recordar que las unidades HDAY-3 y HDAY-4 son plantas gemelas y por lo tanto ambas poseen una configuración y una distribución espacial muy semejantes. De manera detallada y en el mismo orden de aparición, las contingencias presentadas en la Tabla 4.3 son las siguientes:

1. Falla en la Estación de Bombeo de Agua Salada 2 (EBAS-2), ésta falla hace que se active la válvula SV-37023 ubicada en la planta de Alquilación (ALAY). Esta descarga es enviada al Mechurrio 3 únicamente en caso de que el Mechurrio 5 esté fuera de servicio, adicionalmente se considera un evento remoto.
2. Bloqueo de la salida de gases del tambor D-301 perteneciente a la unidad HDAY-3 o del tambor D-351 perteneciente a HDAY-4. Las válvulas involucradas son SV-15034 (HDAY-3) ó SV-16028 (HDAY-4) dependiendo de donde surja la emergencia.
3. Incendio en la unidad de Tratamiento de Naftas 3, NFAY-3. Las válvulas involucradas son todas las pertenecientes a la unidad que descargan al cabezal del mechurrio ácido: SV-13001, SV-13007, SV-13008, SV-13009, SV-13010, SV-13011, SV-13016, SV-13019, SV-13020 y SV-13021.
4. Falla en el controlador de nivel de la torre T-301 ubicada aguas arriba de los equipos donde están las válvulas de seguridad, las cuales son SV-19035, SV-19036 y SV-19041, todas pertenecientes a FMAY-1/2.
5. Incendio en la unidad Hidrodesulfuradora 3 (HDAY-3) ó en la unidad Hidrodesulfuradora 4 (HDAY-4). Las válvulas involucradas son: SV-15033, SV-

034 y SV-15042 de HDAY-3 ó SV-16027, SV-16028 y SV-16033 de HDAY-4, dependiendo de en donde surja la contingencia.

Tabla 4.3: Contingencias con las cargas totales simultáneas más altas, cuyas válvulas descargan al Mechurrio 3

Contingencia	Tipo de contingencia	Flujo máximo simultáneo, W_{MS} [Klb/h]	Peso Molecular, PM [lb/lbmol]	Temperatura de la boquilla, T_{boq} [°F]
Falla EBAS-II SV-37023 de ALAY	Remota	360	58	470
Falla Operacional SV-15034/16028 de HDAY-3/4	Sencilla	212	19	630
Incendio NFAY-3	Remota	159	110	452
Falla Operacional SV-19035/19036/19041 de FMAY-1/2	Sencilla	156	10	110
Incendio HDAY-3/4	Remota	137	219	980

Para las contingencias con máximo flujo simultáneo se estimó el flujo de diseño, esto se realizó a partir de la Ecuación 21 a las condiciones de alivio y tomando en consideración el diámetro interno de la boquilla del Mechurrio 3 (ver Tabla 8.1 en la sección de ANEXOS) y una relación de calores específicos igual a 1, el cual es un valor bastante conservador y adicionalmente consistente en la suposición realizada por el programa FLARE. La comparación de los flujos máximos simultáneos con su equivalente en flujo límite puede ser apreciada en la Tabla 4.4, mostrada a continuación:

Tabla 4.4: Capacidad usada por el Mechurrio 3, durante las máximas contingencias

Contingencia	Flujo Máximo Simultáneo, W_{MS} [Klb/h]	Flujo de Diseño, W_{MD} [Klb/h]	Capacidad Usada, W_{MS}/W_{ML} [%]
Falla EBAS-II SV-37023 de ALAY	360	767	47
Falla operacional SV-15034/16028 de HDAY-3/4	212	409	52
Incendio NFAY-3	159	1066	15
Falla operacional SV-19035/19036/19041 de FMAY-1/2	156	404	39
Incendio HDAY-3/4	137	1198	11

En la Tabla 4.4 se puede observar como a pesar de que una falla en EBAS-II es la más crítica y que genera una mayor cantidad de flujo, es la falla operacional que ocasiona la apertura de la válvula SV-15034 o SV-16028 la que puede estar un poco más cerca del flujo de diseño, esto se debe principalmente a la diferencia existente en el peso molecular de ambos alivios, ya que el flujo es proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular (Ecuación 21).

Otro factor que se tomó en cuenta para evaluar las cargas máximas que procesa el mechurrio ha sido la velocidad del gas en la boquilla del mechurrio cuando ocurren las contingencias señaladas comparándolas con la velocidad máxima (flujo sónico). La velocidad del flujo de gas se estimó a partir de la carga máxima, el diámetro interno de boquilla y la densidad del fluido (suponiendo gas ideal). Por otro lado, la velocidad sónica se calculó a partir de la ecuación 4, mostrada en la sección 2.1.2 del Capítulo II, que como se observa, depende de la temperatura y de la relación de calores específicos. La comparación se presenta a continuación.

Tabla 4.5: Relación de las velocidades desarrolladas por los flujos máximos con respecto al flujo sónico en la boquilla del Mechurrio 3

Contingencia	Velocidad del Flujo máximo, V_{FM} [pie/seg]	Velocidad sónica en la boquilla, V_{SB} [pie/seg]	Relación de velocidades, V_{FM}/V_{SM} [%]
Falla EBAS-II SV-37023 de ALAY	209	893	23
Falla operacional SV-15034/16028 de HDAY-3/4	434	1675	26
Incendio NFAY-3	48	642	7
Falla operacional SV-19035/ 19036/ 19041 de FMAY-1/2	326	1696	19
Incendio HDAY-3/4	33	572	6

En este caso, la velocidad desarrollada por el fluido en la boquilla para la falla operacional en la válvula SV-15034 ó SV-16028 es aproximadamente el doble que la desarrollada en la boquilla por la falla EBAS-II, sin embargo, las velocidades sónicas de ambos flujos se comporta de manera similar, por lo tanto el porcentaje de la velocidad con respecto a la velocidad sónica se conserva aproximadamente igual, 26% en el primer caso y 23% en el segundo, los cuales representan a los valores más altos, sin embargo, estos son valores bastante aceptables, no hay peligro de desarrollarse un flujo sónico en el cabezal del Mechurrio 3 con éstas contingencias analizadas.

4.2.3. CARGAS MÁXIMAS QUE PROCESA EL MECHURRIO 2

Es de hacer notar que la válvula SV-37023 posee un sistema de descarga que va directo al tambor separador D-2203 (ver Tabla 8.1 en la sección de ANEXOS), esto implica que el efluente de la válvula está dirigido únicamente al Mechurrio 3 y por lo tanto ésta contingencia no es tomada en consideración para el análisis del Mechurrio 2. Entonces, las máximas contingencias que estarían siendo descargadas a este mechurrio serían las mostradas en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Contingencias con las cargas totales simultáneas más altas, cuyas válvulas descargan al Mechurrio 2

Contingencia	Tipo de contingencia	Flujo máximo simultáneo, W_{MS} [Klb/h]	Peso Molecular, PM [lb/lbmol]	Temperatura de la boquilla, T_{boq} [°F]
Falla Operacional SV-15034/16028 de HDAY-3/4	Sencilla	212	19	630
Incendio NFAY-3	Remota	159	110	452
Falla Operacional SV-19035/19036/ 19041 de FMAY-1/2	Sencilla	156	10	110
Incendio HDAY-3/4	Remota	137	219	980

En este caso, la ausencia de la falla EBAS-II en las descargas al Mechurrio 2, convierte a las fallas operacionales de las válvulas SV-15034 y 16028 en las contingencias con cargas de alivio más elevada.

Igualmente fue analizado el flujo desarrollado en la boquilla del mechurrio, similar al Mechurrio 3, tal como se muestra a continuación.

Tabla 4.7: Capacidad usada por el Mechurrio 2, durante las máximas contingencias

Contingencia	Flujo Máximo Simultáneo, W_{MS} [Klb/h]	Flujo de Diseño, W_{MD} [Klb/h]	Capacidad Usada, W_{MS}/W_{ML} [%]
Falla operacional SV-15034/16028 de HDAY-3/4	212	296	72
Incendio NFAY-3	159	771	21
Falla operacional SV-19035/19036/ 19041 de FMAY-1/2	156	292	53
Incendio HDAY-3/4	137	866	16

Por otro lado, el diámetro de la boquilla del Mechurrio 2 es más pequeño que el del Mechurrio 3 (ver Tabla 8.1 en la sección de ANEXOS), por lo tanto es de esperarse que el flujo límite a desarrollarse en la boquilla del Mechurrio 2 sea menor que el que puede ser desarrollado en el Mechurrio 3, al ser estos valores más

parecidos, la capacidad usada del mechurrio será más alta, tal como se aprecia en la Tabla 4.7.

Para el caso de la contingencia más crítica (Falla operacional SV-15034/16028) una capacidad usada de 72% es relativamente alta si se le compara con el obtenido en el Mechurrio 3 (47%), lo que confirma que el Mechurrio 2 está un poco más limitado en cuanto a su operación.

Por otro lado, el hecho de que la boquilla del Mechurrio 2 sea más pequeña que su equivalente en el Mechurrio 3 ocasiona que las velocidades desarrolladas en la misma sean superiores, tal como se observa en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Relación de las velocidades desarrolladas por los flujos máximos con respecto al flujo sónico en la boquilla del Mechurrio 2

Contingencia	Velocidad del Flujo máximo, V_{FM} [pie/seg]	Velocidad sónica en la boquilla, V_{SB} [pie/seg]	Relación de velocidades, V_{FM}/V_{SM} [%]
Falla operacional SV-15034/16028 de HDAY-3/4	657	1835	36
Incendio NFAY-3	73	704	10
Falla operacional SV-19035/ 19036/ 19041 de FMAY-1/2	495	1857	27
Incendio HDAY-3/4	49	626	8

De igual manera, la comparación debe hacerse con respecto a la contingencia más crítica, se observa que para el Mechurrio 3 la relación de velocidades es de 23% mientras que para el Mechurrio 2 es de 36%, aunque ligeramente diferentes entre sí, las velocidades de los flujos en las boquillas siguen estando lejos de la velocidad sónica, representando de esta manera una ausencia de peligro por esta causa.

4.3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

4.3.1. ELABORACIÓN DE DIAGRAMA DE NODOS

Conocida la configuración completa del sistema se elaboraron los *diagramas de nodos del sistema de alivio*, cuya función es fragmentar gráficamente la red de tuberías en tramos de diámetro constante de manera tal que pueda ser identificado cada segmento con un nodo de salida y uno de llegada. Es de hacer notar que en cada tramo está integrado por tuberías y por todos los accesorios (codos, “T”, válvulas de bloqueo, etc) que están presentes en el mismo.

En el Apéndice 4 de la sección de Apéndices son presentados los diagramas de nodos realizados para el sistema de alivio de gas ácido identificando todas las unidades de proceso involucradas. Se aprecia en los mismos al nodo número 1 (uno) en la punta de cada mechurrio, y luego aumenta en orden correlativo hasta llegar a los puntos más alejados de los mechurrios.

Como ya se mencionó con anterioridad, la unidad de Alquilación solo descarga al Mechurrio 3 (únicamente cuando el Mechurrio 5 está fuera de servicio), esto se puede observar en los primeros diagramas del Apéndice 4. Con el fin de utilizar los mismos diagramas en las unidades de proceso para cada mechurrio (motivos prácticos) se distribuyeron los nodos en el diagrama principal del Mechurrio 3 descartando el número 11, el flujo va directamente desde el nodo 12 al 4, sin embargo, esto no representa problema alguno en el modelo de simulación, ya que la conexiones están completas.

4.3.2. CÁLCULO DE LAS LONGITUDES REALES Y EQUIVALENTES

Un paso importante para el montaje del *modelo de simulación* es el cálculo de las longitudes reales y equivalentes de los tramos de tubería pertenecientes al sistema de alivio.

La longitud total real de tubería se calcula simplemente sumando el valor de todos los trozos de tubería pertenecientes a un tramo determinado. Las longitudes equivalentes se han calculado a partir de la ecuación 6, donde los coeficientes de resistencia “K” se estimaron con la aplicación de las ecuaciones descritas por Crane. En el Apéndice 5 de éste trabajo se muestran las ecuaciones mencionadas y las consideraciones adicionales tomadas en cuenta en el proceso de cálculo, de igual manera se muestra un inventario de los accesorios presentes en cada tramo de tubería. La cantidad de los accesorios existentes es necesaria para conocer la resistencia total que ofrecen los mismos al flujo de los gases.

Con la finalidad de lograr una identificación completa de los tramos de tubería, se ha elaborado la Tabla 7.6 (mostrada en la sección de ANEXOS), en ella se muestran, para cada tramo, el nodo de salida y llegada entre los cuales está comprendido el segmento, una breve descripción del tramo, las dimensiones (diámetro y longitud real) de la tubería y finalmente la longitud equivalente representativa de los accesorios presentes en esa sección de tubería.

Para estimar la presión aguas arriba de la boquilla del mechurrio se empleó la Figura 8.4 (Anexo 2) el cual fue extraído del manual “ExxonMobil Design Practice” en su sección XV-E (SAFETY IN PLANT DESIGN: FLARES). Para el Mechurrio 3 se estimó una caída de presión de 0,55 psi en la boquilla del mechurrio y para el Mechurrio 2 de 0,90 psi.

4.3.3. MODELO DE SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO

Para este momento ya posee conocimiento sobre las dimensiones de las redes de tubería que conforman al sistema de alivio, así como de las contingencias que pueden ocurrir en las unidades de proceso que descargan sus efluentes a los Mechurrios 2 y 3. A partir de estos datos se elaboró el modelo de simulación del sistema de alivio con el programa FLARE para cada mechurrio en operación, recordando nuevamente que el Mechurrio 3 es el que se encuentra normalmente en operación y el Mechurrio 2 es un respaldo del mismo.

La ejecución del programa FLARE se realiza únicamente a través del sistema operativo MS-DOS, por lo tanto no posee una interfaz gráfica, representando esto una desventaja para la aplicación. De igual manera, el modo de ingreso de los datos podría tornarse compleja dado que el programa reconoce los valores de acuerdo con los espacios que ocupan los caracteres dentro de la línea de comando, de igual manera, el separador de cifras enteras y decimales posee una ubicación predefinida invariable en las líneas de comando del programa, de esta manera, los valores con decimales no se visualizan como tales, sino como un único entero; por ejemplo, una longitud real de 91,8 m se debe ingresar como 918, sin embargo, el programa realiza los cálculos respectivos como si fuera 91,8, (por supuesto, si se colocó la cifra en el lugar correcto dentro de la línea de comando). Estos modelos podrán ser modificados posteriormente a medida que se realicen cambios en el sistema.

Como ya se indicó anteriormente, para poder simular con el programa FLARE, se necesitan dos grupos de datos:

1. *La configuración del sistema de alivio.* Este grupo involucra todas las dimensiones de las tuberías, la palabra clave es “PIPE” y los datos principales, en orden de colocación son, nodo de salida, nodo de llegada, diámetro, longitud real, longitud equivalente y un código de válvula (si existe en ese segmento).
2. *Información de las contingencias.* Acá las palabras claves son “FIREXX”, “OPXX”, etc, donde las letras “FIRE” y “OP” señalan un incendio o una falla operativa respectivamente y las “XX” indican un distintivo para diferenciar las contingencias unas con otras, comúnmente se emplean números. Los datos en orden de aparición son: código de la falla, código de la válvula, carga de alivio, temperatura del gas, peso molecular del gas y presión de disparo de la válvula.

El modelo de simulación fue realizado en un archivo *.TXT* (bloc de notas) y luego fue invocado desde el programa *cmd* (MS-DOS), el cual ejecuta a su vez el programa FLARE mediante comandos específicos. El resultado de este procedimiento es un archivo *OUT.ASC* que contiene el input y el output de la simulación, se le cambia la extensión de este archivo a uno *.DOC* (Word) y se visualizan de esta manera los resultados esperados.

4.4. ESTIMACIÓN DE CONTRAPRESIONES

Finalmente se ejecutan los modelos y se determinan de ésta manera las contrapresiones desarrolladas en las válvulas de seguridad de acuerdo al mechurrio que está en operación. Las tablas 7.7 y 7.8 del Apéndice 7 muestran las contrapresiones desarrolladas en las válvulas de seguridad cuando los Mechurrio 3 y 2, respectivamente, están en operación, se indican las contrapresiones desarrolladas en las válvulas para todas las contingencias analizadas, resaltando en la última columna cual es la mayor entre ellas. En estas tablas se observa el predominio de las contingencias de incendio y falla operacional y la ausencia casi total de la falla de agua de enfriamiento, esto es consistente con lo discutido en la sección 4.2.1 de este mismo capítulo. En los casos donde una válvula de seguridad puede aperturarse por ambas contingencias (incendio y falla operativa), la contrapresión calculada en el caso de la falla operativa es mayor que su equivalente en el caso incendio, este resultado es el esperado considerando que la contrapresión es función directa del flujo que circula por las tuberías, mientras más flujo, más altas son las caídas de presión y por ende más alta la presión aguas arriba y en análisis de las carga de alivio del sistema de alivio en estudio las cargas de alivio resultaron ser siempre mayores en el primer caso.

Se ha resaltado la contrapresión más alta ya que este valor es el que debe tomarse en cuenta en el diseño y evaluación de un sistema de alivio. En tal sentido se han comparado los resultados obtenidos para el Mechurrio 3 en operación con los correspondientes al Mechurrio 2, esta comparación puede apreciarse en la Tabla 7.9 del Apéndice 7, en ella se observan que las contrapresiones según el mechurrio en operación son bastante similares, en la mayoría de los casos la diferencia entre ambos valores es inferior a 1 psi, ciertamente la red de líneas que comunican a ambos mechurrios son segmentos relativamente pequeños y están dados en los tramos finales del cabezal del mechurrio, en donde los diámetros grandes de tubería inciden poco en las caídas de presión del sistema.

Dado que las diferencias de contrapresión entre ambos mechurrios son prácticamente nulas y que el Mechurrio 3 es el que normalmente se encuentra en operación se tomarán los resultados obtenidos para este último caso en los análisis que se realizan a continuación en esta Discusión de Resultados.

4.4.1. CASOS CRÍTICOS DE CONTRAPRESIÓN

La Tabla 7.10 del Apéndice 7 muestra la relación existente entre la contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad y su presión de apertura (o de disparo), en la mayoría de los casos, este valor se encuentra en intervalo recomendado para el tipo de válvula y la contingencia:

- 10% para las válvulas convencionales en una falla operativa
- 21% para las válvulas convencionales en un incendio
- 50% para las válvulas balanceadas

Sin embargo, existen algunos casos muy relevantes donde la contrapresión ha sobrepasado estos valores los cuales han sido resumidos en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9: Casos críticos de contrapresión acumulada

Unidad	Válvula	Tipo ^[1]	Contingencia	Presión de Disparo, PD [psig]	Contrapresión más alta, CP [psig]	CP/PD (%)	
						Calculado	Máximo Permitido
SUAY-3	SV-43029	B	INCENDIO	95	61,5	65	50%
	SV-43041	B	INCENDIO	50	57,7	115	50%
	SV-43042	B	INCENDIO	50	58,4	117	50%
HDAY-3	SV-15045	B	F. O.	60	70,8	118	50%
HDAY-4	SV-16041	B	F. O.	60	70,8	118	50%
FMAY-1/2	SV-19025	C	F. O.	105	14,5	14	10%
HDAY-3	SV-15004	C	F. O.	1000	105,0	11	10%
	SV-15034	C	F. O.	835	127,3	15	10%
HDAY-4	SV-16004	C	F. O.	1000	105,5	11	10%
	SV-16028	C	F. O.	835	127,3	15	10%

Notas:

1) Tipo: C= Convencional; B= Balanceada; P= Piloto

Como puede apreciarse en la Tabla 4.9, las 5 primeras válvulas (SV-43029, SV-43041, SV-43042, SV-15045 y SV-16041) son balanceadas y no son influenciadas por la contrapresión, sin embargo, se está generando una contrapresión muy alta que en la mayoría de los casos sobrepasa a la presión de disparo, esto indica que en el momento en que se genere la contingencia, las válvulas presentarán problemas de apertura causados por la debilidad mecánica en los componentes internos de la válvula, sobrepresionando aún más los equipos involucrados hasta provocar una posible explosión en alguna sección de la unidad.

Caso particular lo representan las válvulas SV-43041 y SV-43042 pertenecientes a SUAY-3, donde la contrapresión sobrepasa la presión de diseño de los tambores que son protegidos por ellas (50 psig) (Manual de operación de la unidad Recuperadora de Azufre 3 SUAY-3, Capítulo 6: Descripción de los Equipos, GSP-VOL1-SUAY3-007). En el pasado no se presentó este problema ya que las válvulas que descargaban al subcabezal de SUAY-3 eran: SV-43041, SV-43042 y SV-43036, donde la descarga total en caso de incendio era de 4,72 Klb/h, el equipo que protegía esta última válvula (VS-43036), el tambor D-982 fue desmantelado (por lo tanto, también fue retirada la válvula que lo protegía) y en la configuración actual la descarga de la SV-43029, protectora de una línea de gas natural, se dispuso hacia éste subcabezal, con ésta nueva configuración, la descarga total en la planta aumentó a 12,73 Klb/h, aproximadamente 3 veces más de lo que se descargaba anteriormente, al existir mayor flujo aumenta la fricción en las tuberías y por ende la contrapresión en las válvulas.

Por otro lado, las válvulas SV-15045 de HDAY-3 (protectora del horno F-301) y SV-16041 de HDAY-4 (protectora del horno F-351) son de tamaño 2x3 (entrada de 2" y salida de 3") y fueron instaladas recientemente debido a la necesidad inmediata de su presencia en la unidad de proceso. De acuerdo a esto, toda la tubería de descarga debería ser al menos de 3" (salida de la válvula de seguridad), sin embargo, la configuración de descarga consiste de una tubería de 3" luego una contracción de 3" a 2" y finalmente una tubería de 2" hasta su llegada a una tubería de 16", la presencia de la contracción origina una restricción al flujo saliente,

aumentando en mucho las caídas de presión en el tramo de tubería posterior al accesorio (2''), originando una alta contrapresión a la salida de la válvula.

Las restantes 5 válvulas de la Tabla 4.9 son convencionales. Según los resultados obtenidos, la relación de contrapresión/presión de disparo es superior al 10%, esto implica que dada la eventualidad, las válvulas abrirían normalmente pero se generaría un golpeteo en las mismas (apertura y cierre inmediato de la válvula), si esto se prolonga por algún tiempo causaría daño en las partes mecánicas de la válvula de seguridad provocando un mal funcionamiento a futuro disminuyendo sustancialmente la seguridad dentro de la planta.

4.4.2. COMPARACIÓN CON RESULTADOS DEL SIMULADOR INPLANT

Con el fin de darle soporte a los resultados obtenidos mediante el programa FLARE, se realizó la simulación de las contingencias en las cuales se prevén altas contrapresiones en el simulador comercial INPLANT que, como se mencionó anteriormente, es un programa que igual permite la simulación de una contingencia en un sistema de alivio. El modelo montado para el caso de la unidad SUAY-3 puede ser visualizado en la Figura 4.3, mostrada a continuación:

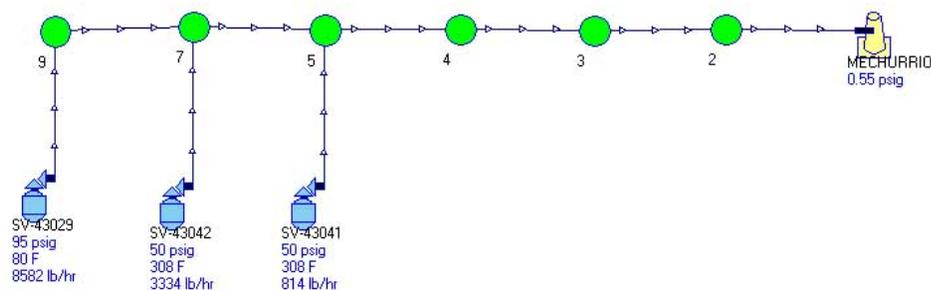


Figura 4.3: Simulación de la contingencia de incendio en la unidad de proceso SUAY-3 con el simulador INPLANT

Como puede observarse, se han especificado las condiciones de descarga de las tres válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio, presión de disparo,

temperatura y flujo y se han enumerado los nodos (círculos verdes) de la misma manera como se especificaron para la simulación con el programa FLARE, la salida del mechurrio tiene una presión de 0,55 psig dado que se ha considerado igualmente la caída de presión generada por la boquilla del mechurrio.

De igual manera, fueron montados los modelos de simulación de las contingencias que involucran a las válvulas de seguridad de la Tabla 4.9, los resultados en la contrapresión obtenida se aprecian en la tabla siguiente:

Tabla 4.10: Comparación de los resultados obtenidos en el programa FLARE con los obtenidos en el simulador INPLANT

Unidad	Válvula	Presión de Disparo, PD [psig]	Contrapresión, CP [psig]		Desviación [%]
			FLARE	INPLANT	
SUAY-3	SV-43029	95	61,5	59,5	3,2
	SV-43041	50	57,7	55,7	3,4
	SV-43042	50	58,4	56,4	3,4
HDAY-3	SV-15045	60	70,8	67,6	4,6
HDAY-4	SV-16041	60	70,8	67,6	4,6
FMAY-1/2	SV-19025	105	14,5	13,1	9,5
NFAY-3	SV-13001	130	105	109,6	4,4
HDAY-3	SV-15004	1000	127,3	133,8	5,1
	SV-15034	835	105	109,6	4,4
HDAY-4	SV-16004	1000	127,3	133,8	5,1
	SV-16028	835	61,5	59,5	3,2

La simulación de los casos problemáticos con el simulador INPLANT igualmente refleja altos valores de contrapresión, acercándose satisfactoriamente a los obtenidos a través del simulador FLARE. De manera general, la desviación entre ambos resultados es inferior al 5%, solo para el caso de la apertura de la válvula SV-19025 se obtiene un 9,5%, siendo éste el caso más desviado, sin embargo, la contrapresión obtenida (13 psig) sigue estando por encima de la contrapresión máxima permitida ($13,1/105=12\%$).

Los resultados obtenidos mediante la herramienta INPLANT, apoyan sin duda alguna los obtenidos por el FLARE, por lo que se puede tener una amplia

confiabilidad en los resultados emitidos por la herramienta computacional utilizada en este Trabajo Especial de Grado.

4.5. EVALUACIÓN DE FLUJO SÓNICO EN EL SISTEMA DE ALIVIO

El flujo sónico es reconocido en planta por una vibración persistente de la tubería que transporta un flujo determinado, cuando esta vibración se prolonga por algún tiempo puede ocasionar daños mecánicos a las tuberías, como las bridas, provocando roturas y escape del gas, lo cual resultaría en contaminación directa del ambiente y daño a la salud personal, tratándose de un sistema que transporta gases con altas concentraciones de H₂S, la situación se vuelve aún más crítica, ya que el escape de este tipo de corrientes a la atmósfera podría provocar daños irreversibles al personal cercano a la fuga. Es por ello que la presencia de flujo sónico en una tubería es algo de extrema importancia que debe ser solventado en la mayor brevedad posible.

De la ejecución de los respectivos modelos de simulación se logró detectar alertas de flujo sónico en 8 tramos de tuberías pertenecientes al sistema de alivio de gas ácido, éstos fueron identificados de acuerdo a los diagramas de nodos elaborados con anterioridad y son mostradas en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Tramos con alerta de flujo de sónico al momento de la descarga

Nodo Salida	Nodo Llegada	Válvula Involucrada	Unidad	Descripción del Tramo	Contingencia
160	159	SV-15004	HDAY-3	Tubería saliente de la válvula	F. Operacional
170	169	SV-15034	HDAY-3	Tubería saliente de la válvula	F. Operacional
157	156	SV-15042	HDAY-3	Tubería saliente de la válvula	F. Operacional
166	165	SV-15045	HDAY-3	Tubería de 2", luego de la contracción	F. Operacional
197	196	SV-16004	HDAY-4	Tubería saliente de la válvula	F. Operacional
207	206	SV-16028	HDAY-4	Tubería saliente de la válvula	F. Operacional
194	193	SV-16033	HDAY-4	Tubería saliente de la válvula	F. Operacional
203	202	SV-16041	HDAY-4	Tubería de 2", luego de la contracción	F. Operacional

Lo primero que salta la vista en esta Tabla 4.11 es la cantidad de tramos de tubería que presentan flujo sónico cuando las válvulas involucradas son activadas. En la mayoría de los casos, el problema se estaría presentando justo en la tubería saliente de las válvulas de seguridad. Es llamativo que 4 de las 8 válvulas mostradas en la Tabla 4.11 ya fueron indicadas como válvulas con alta contrapresión, ellas son SV-15004, SV-15045, SV-16004 y SV-16041, ya es más que evidente que existe un problema en la descarga de estas válvulas de seguridad.

A la salida de las válvulas de seguridad SV-15004, SV-15034 y SV-15042 de HDAY-3 y las SV-16004, SV-16028 y SV-16033 de HDAY-4 existe una expansión gradual y de acuerdo a los resultados obtenidos, el flujo sónico se estaría desarrollando justo antes de que el fluido ingresa a este accesorio, físicamente el tramo problemático estaría representado por un “anillo” de tubería entre la salida de la válvula y la expansión. Esto podría hacer pensar que las válvulas están subdimensionadas, sin embargo, no es así, se realizaron los cálculos respectivos de dimensionamiento de válvulas de seguridad comprobándose que técnicamente la válvula es la adecuada para manejar el flujo, el problema radica en el inicio de la red de tuberías de la descarga, la solución natural para una presencia de flujo sónico es ampliar el diámetro de la tubería problemática, sin embargo, en los casos que se tienen acá no es aplicable, ya que el problema está justo en la boquilla saliente de la válvula, según el orden de ideas, se podría ampliar el diámetro de la boquilla de la válvula manteniendo el mismo tamaño de orificio (para evitar el golpeteo).

En el otro caso representado por las válvulas SV-15045 y SV-16041, la alerta se indica en el tramo aguas arriba de la contracción 3x2 existente en la línea de descarga. Ésta contracción es el origen de la alta contrapresión desarrollada y también representa un riesgo de flujo sónico al momento en que la válvula sea aperturada.

La mayoría de casos que presentan riesgo de flujo sónico ya han sido simulados con el programa INPLANT en la sección anterior, de igual manera, se muestran los resultados con respecto a flujo sónico obtenidos del software indicado:

Tabla 4.12: Resultados de la simulación en INPLANT para los casos con riesgo de flujo sónico

Nodo		Válvula Involucrada	Velocidad del Fluido, Vs [pie/s]	Velocidad Sónica, Vs [pie/s]	Porcentaje de Velocidad Sónica, %Vs [%]
Salida	Llegada				
160	159	SV-15004	1.642,39	2.237,24	73,4
170	169	SV-15034	1.441,45	1.810,05	79,6
157	156	SV-15042	2.218,93	3.027,03	73,3
157	156	SV-15042	843,53	1.203,33	70,1
197	196	SV-16004	1.642,39	2.237,24	73,4
207	206	SV-16028	1.441,45	1.810,05	79,6
194	193	SV-16033	2.218,93	3.027,03	73,3
203	202	SV-16041	843,53	1.203,33	70,1

El simulador INPLANT tiene la capacidad de indicar, la presencia de flujo crítico no sólo cualitativamente sino también de forma cuantitativa, y esto puede ser observado en los resultados de la Tabla 4.12. Los valores obtenidos al simular las contingencias con el simulador INPLANT convalidan sin duda los resultados emitidos por el programa FLARE. Según la ExxonMobil Desing Practices la velocidad puede llegar a ser hasta 75% de la velocidad sónica, según los resultados obtenidos el porcentaje de velocidad sónica está por encima de 70%, lo que indica que se está bastante próximo al valor máximo recomendado, confirmando la necesidad de modificaciones en la red de descargas para evitar en lo posible los problemas originados por la alta velocidad en las redes de tuberías.

4.6. DETERMINACIÓN DE OPCIONES DE MEJORA

4.6.1. PROPUESTA PARA DISMINUIR LAS ALTAS CONTRAPRESIONES EN SUAY-3

Actualmente, el cabezal de la unidad de Azufre (SUAY-3) es de 4'' (ver Figura 4.4). Como ya se indicó anteriormente, al generarse una contingencia de incendio en la unidad de Azufre 3 (SUAY-3) las válvulas de seguridad de la planta no funcionarían adecuadamente ya que se la contrapresión en las mismas es tan grande que causarían una sobrepresión adicional en los recipientes, provocando posibles roturas debido a debilidades mecánicas de los mismos, en este caso el flujo total actual que circula por el cabezal de SUAY-3 es mas grande que el estipulado en su diseño original, por lo que se sugiere una sustitución del cabezal actual de la planta de 4'' por uno de 6'', tal como se muestra en la Figura 4.4, al existir un diámetro más grande de tubería, las caídas de presión disminuirían, logrando que las contrapresiones en las válvulas de seguridad sean más pequeñas.

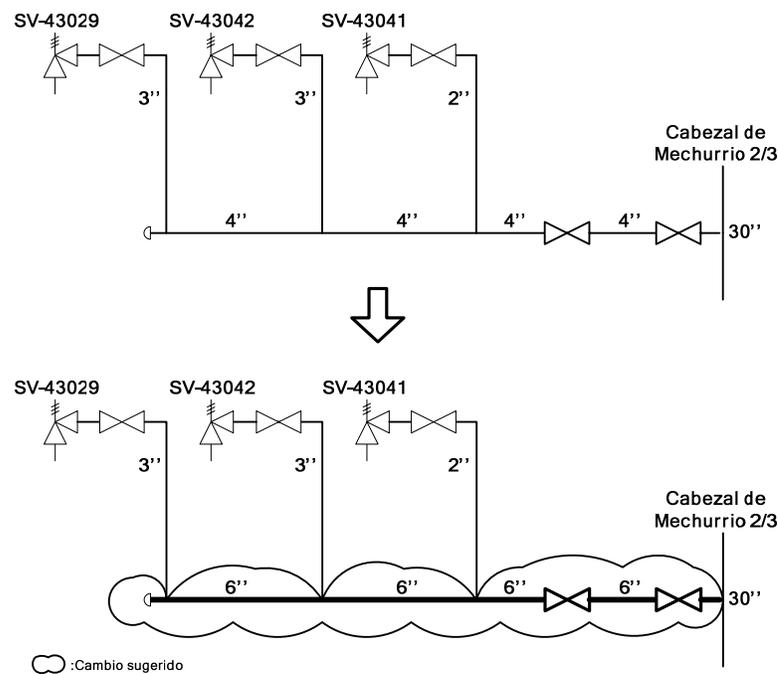


Figura 4.4: Configuración actual y cambio propuesto de la descarga de las válvulas de seguridad de la unidad SUAY-3

Para verificar que la propuesta es válida se ha realizado la simulación del sistema en INPALNT con el cambio en las tuberías del cabezal de 4" a 6", los resultados obtenidos pueden ser apreciados en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Contrapresión en las válvulas de seguridad de SUAY-3 con el cambio propuesto

Válvula de Seguridad	Presión de Disparo, PD [Psig]	Contrapresión, CP [Psig]		Relación CP/PD [%]	
		FLARE	INPLANT	FLARE	INPLANT
SV-43029	95	22,8	21,9	24,0	23,1
SV-43041	50	14,6	15,0	29,3	30,0
SV-43042	50	15,2	15,5	30,4	31,0

Como es de notar en la tabla presentada, las contrapresiones bajaron logrando que la relación CP/PD también disminuya hasta estar en los niveles recomendados para válvulas tipo balanceadas (máximo 50%). Una vez más se han convalidado los resultados obtenidos por el programa FLARE con los obtenidos por el simulador INPLANT, demostrando la aplicabilidad completa del programa.

4.6.2. PROPUESTA PARA SOLVENTAR EL PROBLEMA EN LA DESCARGA DE LAS VÁLVULAS SV-15045 DE HDAY-3 Y SV-16041 DE HDAY-4

Como ya se discutió anteriormente, las válvulas de seguridad SV-15045 de HDAY-3 y SV-16041 de HDAY-4 son de tipo balanceada y presentan, al igual que las pertenecientes a SUAY-3 una contrapresión muy alta de 70,8 psi siendo su presión de disparo 60 psi obteniéndose una relación CP/PD de 117%, lo cual indica que la válvula presentará grandes dificultades al momento de su apertura. Adicional a esto, los resultados obtenidos indican que se desarrolla un flujo sónico en el tramo de tubería de 2" posterior a la contracción de 3x2 correspondiente a la descarga de la válvula (ver Figura 4.5).

La propuesta es eliminar la contracción de 3x2 existente en la tubería de descarga y sustituir la tubería de 2" por una de 3", de manera que exista una única tubería de 3" desde la descarga de la válvula hasta su llegada a la tubería de 16" (LF-30027-AA2B ó LF-35027-AA2B), tal como se observa en la Figura 4.5, con este aumento en el diámetro se pretende eliminar la alta contrapresión acumulada en la válvula y el flujo sónico generado en la tubería de 2".

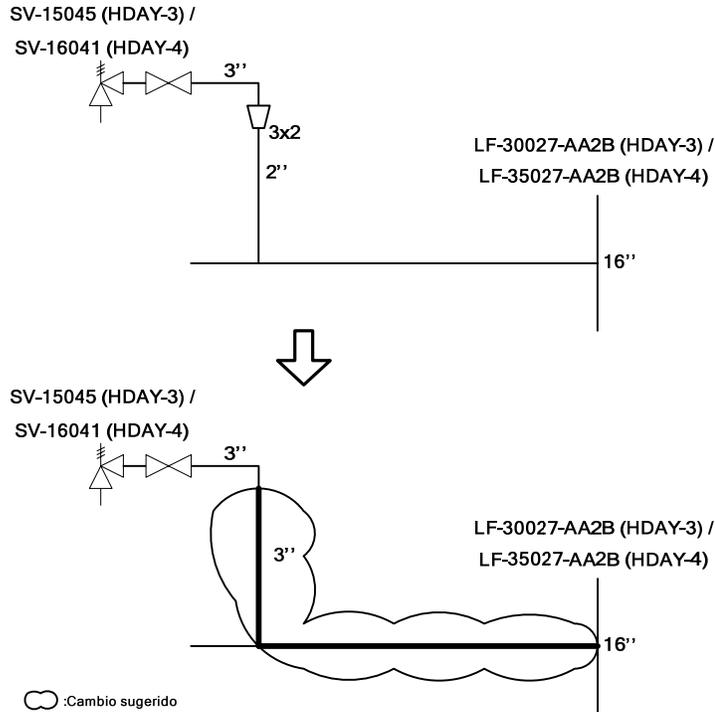


Figura 4.5: Configuración propuesta de las descargas las válvulas SV-15045 y SV-16041

Los resultados de contrapresión arrojados por los dos simuladores empleados son los siguientes:

Tabla 4.14: Contrapresión en las válvulas de seguridad SV-15045 y SV-16041 con el cambio propuesto

Válvula de Seguridad	Presión de Disparo, PD [Psig]	Contrapresión, CP [Psig]		Relación CP/PD [%]	
		FLARE	INPLANT	FLARE	INPLANT
SV-15045	60	22,2	20,2	37,0	33,7
SV-16041	60	22,2	20,2	37,0	33,7

La contrapresión se ha disminuido sustancialmente hasta los niveles permitidos, lo cual indica que la estrategia propuesta, es bastante válida, de esta manera se estaría solventando parte del problema presentado en la descarga de esta válvula de seguridad.

Los resultados obtenidos con respecto al flujo sónico son los siguientes:

Tabla 4.15: Resultados obtenidos con respecto a velocidad sónica en la descarga de las válvulas de seguridad SV-15045 y SV-16041 con el cambio propuesto

Válvula de Seguridad	FLARE	INPLANT		
		Velocidad del gas, V [pie/s]	Velocidad sónica, Vs [pie/s]	Porcentaje de Velocidad Sónica [%]
SV-15045	No indica alerta de flujo crítico	392,53	1206,91	32,5
SV-16041	No indica alerta de flujo crítico	392,53	1206,91	32,5

Como era de esperarse, la propuesta realizada hace desaparecer los problemas de velocidad sónica que estarían presentes en la descargas de las válvulas de seguridad, confirmando que la solución ofrecida es viable.

Algo que salta a la vista en las últimas dos tablas, es la similitud de los valores obtenidos en un mismo simulador para las dos válvulas, sin embargo, hay que recalcar nuevamente que las unidades HDAY-3 y HDAY-4 son plantas gemelas en toda la configuración, por lo tanto las tuberías a la descarga son completamente idénticas. La unidad HDAY-4 está un poco más alejada del mechurrio, la distancia que separa a ambas unidades es 178 pies (distancia entre los nodos 188 y 155) por lo tanto se esperaría que las contrapresiones en las válvulas de seguridad de HDAY-4 fueran un poco mayores a las de HDAY-3, sin embargo, esto no es así, y es debido a que la tubería que conecta a ambas unidades es de 30" (cabezal del mechurrio) la cual es bastante grande para los flujos manejados indicando que la pérdidas por fricción en esta tubería no son realmente significativas.

4.6.3. PROPUESTAS PARA SOLVENTAR EL RESTO DE LOS PROBLEMAS DE CONTRAPRESIÓN Y VELOCIDAD SÓNICA

Hasta este punto ya se han corregido dos importantes problemas generados en las unidades SUAY-3 y HDAY-3/4, igualmente se hace necesario plantear soluciones para los problemas encontrados en el resto de las válvulas de seguridad referentes a altas contrapresiones y flujo sónico.

La válvula SV-19025 es de tipo convencional, pero según los resultados presenta una alta contrapresión, acá la solución más acertada consistiría simplemente en sustituir la válvula por una de tipo balanceada del mismo tamaño de orificio. Esto se fundamenta en el Manual de Diseño de PDVSA, mencionado anteriormente, donde se recomienda el uso de válvulas de seguridad de *tipo fuelle balanceado* cuando la contrapresión acumulada excede el 10% de la presión manométrica.

Las válvulas SV-15004 y SV-16004 son de tamaño “K” (ver Tabla 7.1) y justo a la salida de las mismas tienen una expansión 4x6 (ver Figura 4.6). No sería correcto sustituir la válvula por otra de mayor tamaño de orificio porque se estaría sobrediseñando y ocasionar golpeteo, que como ya se indicó, consiste en la apertura y cierre rápido de la válvula ocasionando daños mecánicos si la situación se prolonga. Lo recomendable acá es sustituir las válvulas del tamaño actual que poseen, 3K4 por unas de tamaño 3K6 (Ver Tabla 8.2 de la sección de ANEXOS), y la expansión 4x6 existente sea cambiada por una 6x10, como se aprecia en la Figura 4.6. De ésta manera se mantiene el mismo tamaño de orificio estableciendo un mayor diámetro en la tubería de salida evitando así el problema de flujo sónico.

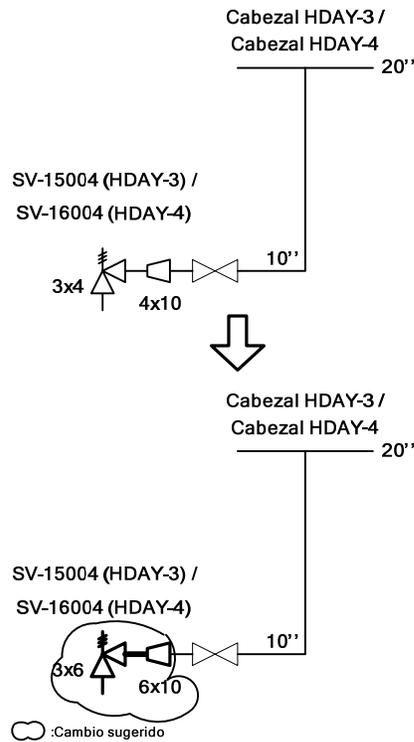


Figura 4.6: Configuración propuesta de las descargas de las válvulas SV-15004 y SV-16004

En el caso de las válvulas SV-15034 y SV-15042 (ambas de HDAY-3), SV-16028 y SV-16033 (ambas de HDAY-4), son todas de tamaño 4P6 y también tienen una expansión a la descarga de la válvula de seguridad (ver Figura 4.7).

De acuerdo a los resultados obtenidos, estas válvulas también presentan riesgo de flujo sónico en la descarga de las mismas, sin embargo, para las válvulas “P” no existe un tamaño de diámetro saliente superior al que tienen. Por lo tanto, se recomienda sustituir la válvula actual por dos válvulas de tamaño de orificio menor, de manera que el flujo total sea dividido en dos, una válvula con una apertura de 100% la presión de disparo y la otra a 105% (ASME-Sección VIII, “Pressure Vessels”). El cambio propuesto se puede apreciar en la Figura 4.7.

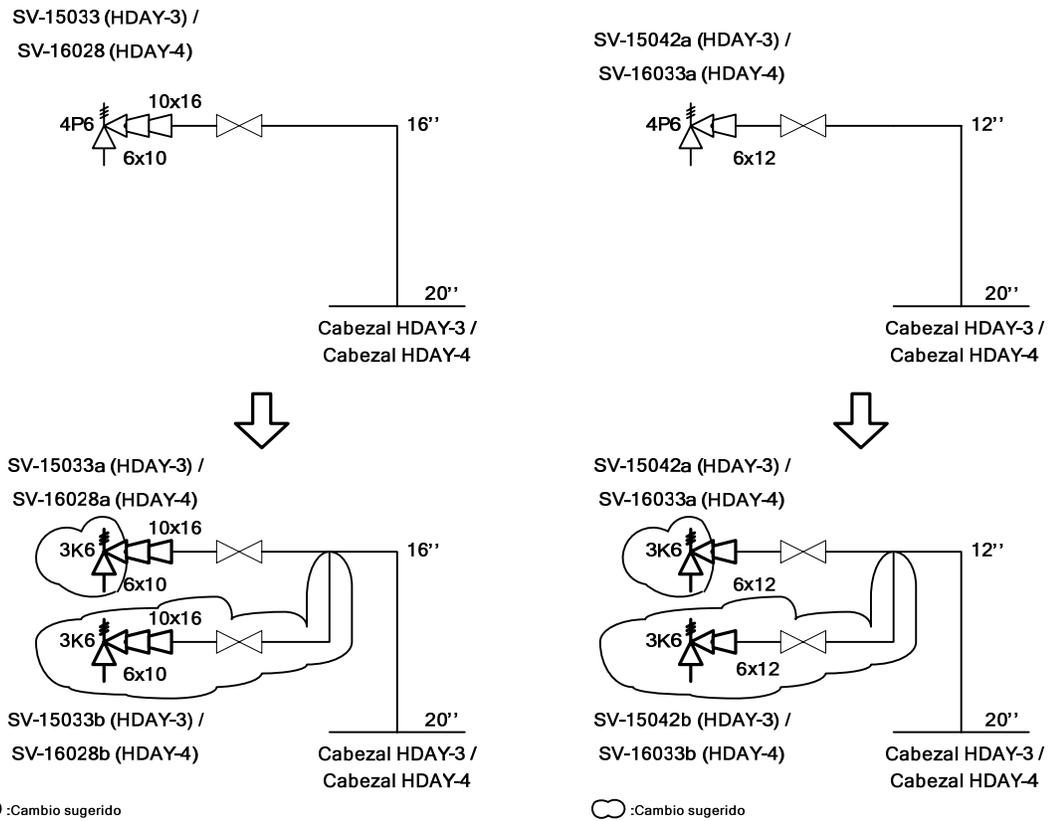


Figura 4.7: Configuración actual de las descargas las válvulas SV-15033, SV-16028, SV-15042 y SV-16033

Siguiendo el procedimiento de dimensionamiento de válvulas de seguridad del Manual de Diseño PDVSA MDP-08-SA-04 referido con anterioridad, se llega a los siguientes requerimientos de válvulas de alivio:

Tabla 4.16: Cambio propuesto para las válvulas de tamaño "P" que presentan riesgo de flujo sónico en la tubería de descarga

UNIDAD	VÁLVULA	CANTIDAD DE VALVULAS PROPUESTAS	TAMAÑO	RATING	FLUJO c/u (Lb/h)	PRESIÓN DE DISPARO (Psig)	
						VÁLVULA 1	VÁLVULA 2
HDAY-2	SV-14007	2	3K6	900#x300#	43350	455	478
HDAY-3	SV-15034	2	3K6	900#x150#	106165	835	877
	SV-15042	2	3K6	900#x150#	43862	745	782
HDAY-4	SV-16028	2	3K6	900#x150#	106165	835	877
	SV-16033	2	3K6	900#x150#	43862	745	782

Se ha ejecutado una nueva simulación del sistema de alivio, donde se han incluido las recomendaciones realizadas, obteniéndose los siguientes resultados en la contrapresión:

Tabla 4.17: Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad con la aplicación de las distintas recomendaciones

UNIDAD	VÁLVULA	TIPO	ACTUAL			CON PROPUESTAS		
			PRESIÓN DISPARO, PD (psig)	CONTRA-PRESIÓN, CP (psig)	BP/SP (%)	PRESIÓN DISPARO, PD (psig)	CONTRA-PRESIÓN, CP (psig)	BP/SP (%)
HDAY-3/4	SV-15004/ SV-16004 ⁽¹⁾	C	1000	105	11	1000	33,9	3
	SV-15034/ SV-16028 ⁽²⁾	C	835	128	15	835	59,3	7
						877	59,6	7

Notas de la Tabla 4.17

1. Cambio propuesto: Sustituir la válvula actual por una de mayor tamaño de diámetro de salida, conservando el mismo tamaño de orificio.
2. Cambio propuesto: Sustituir la válvula actual por dos más pequeñas.

Se aprecia como la contrapresión disminuyó en todos los casos, hasta quedar en el rango recomendado para válvulas de tipo convencional (menor a 10%). Adicionalmente, las alertas de flujo crítico en las descargas de estas válvulas de seguridad han desaparecido, solventándose ambos problemas con las propuestas planteadas

4.6.4. PRESIONES DE CALIBRACIÓN

La presión de ajuste (o de disparo) de una válvula de seguridad es el valor fijado mediante el cual, la válvula debe abrir y descargar el gas (o líquido) que causa la sobrepresión. La presión de calibración es la presión a la cual es ajustada la válvula en el taller de calibración para que una vez instalada en el área ésta pueda abrir a la presión de disparo. Hasta este punto ya es conocido que la contrapresión ejerce una

fuerza de cierre adicional sobre el disco de la válvula, por lo tanto, al valor de presión de disparo de la válvula se le debe sustraer el correspondiente a la contrapresión.

La calibración de la válvula de seguridad se realiza a condiciones atmosféricas las cuales difieren sustancialmente de las condiciones a la cuales se aliviará el gas, por ello, los fabricantes sugieren que se realice una corrección a la presión de disparo para compensar el efecto de las altas temperaturas de alivio sobre el funcionamiento de las válvulas de seguridad ya que la misma juega un papel fundamental en la dilatación de los materiales con que está elaborada la válvula. La presión de calibración final (luego de que se haya restado el efecto de la contrapresión) deberá ser multiplicada por un factor que va a depender de la marca y modelo de la válvula. De tal manera, la ecuación que debe utilizarse para el cálculo de la *presión de calibración* es la siguiente:

$$PC = (PD - CP) \cdot F_{Temp} \quad (22)$$

Donde:

PC: Presión de calibración [psig]

F_{Temp}: Factor dependiente de la temperatura de alivio

En las tablas 8.3, 8.4 y 8.5 del Anexo 5 se presentan los factores mencionados para las distintas marcas y modelos de válvulas de seguridad que están instaladas en el sistema de alivio de gas ácido.

De acuerdo a la investigación realizada, la presión de calibración de una cantidad importante de válvulas de seguridad del sistema estudiado no es la más adecuada, se presume que en algunos casos no se ha tomado en cuenta la contrapresión en la válvula (convencionales) y en otros la influencia de la temperatura, otro factor que podría estar originando esto son modificaciones que se le han realizado al sistema de alivio, por ejemplo: una válvula que en un principio era tipo convencional y por algún motivo se decidió cambiarla a balanceada, originalmente se le había tomado en cuenta el efecto de la contrapresión pero luego

del cambio ya no era necesario sustraer el valor de contrapresión, sin embargo, se le siguió calibrando con la misma presión.

La válvula de seguridad al tener una presión de calibración inadecuada puede traer como consecuencia:

- Si la válvula abre a una presión por encima de la que tiene que abrir se estaría generando más sobrepresión en el recipiente, acercándose cada vez más o sobrepasando los límites de diseño del mismo.
- Si la válvula abre a una presión por debajo de la que tiene que abrir, la apertura se vuelve muy sensitiva a pequeños aumentos de presión liberando cantidades importantes de fluido, lo cual se traduce en algunos casos como pérdida de flujo de proceso.

Debido a las importantes consecuencias que trae consigo una presión de calibración incorrecta, se cree necesario resaltar este punto de manera adicional a los objetivos originales de éste Trabajo Especial de Grado, en tal sentido se recopiló la información necesaria, principalmente en los manuales de instalación operación, y mantenimiento emitidos por los fabricantes de las válvulas de seguridad.

En vista de que el 96% de las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido son de marca *Consolidated*, se ha realizado una representación gráfica de los valores del factor corrector de la presión de calibración de la Tabla 8.3 (en la sección de Anexos), con el objeto de establecer una tendencia de los valores y posteriormente poder utilizar una ecuación de manera que pueda facilitar los cálculos a realizar. Ésta gráfica se presenta a continuación:

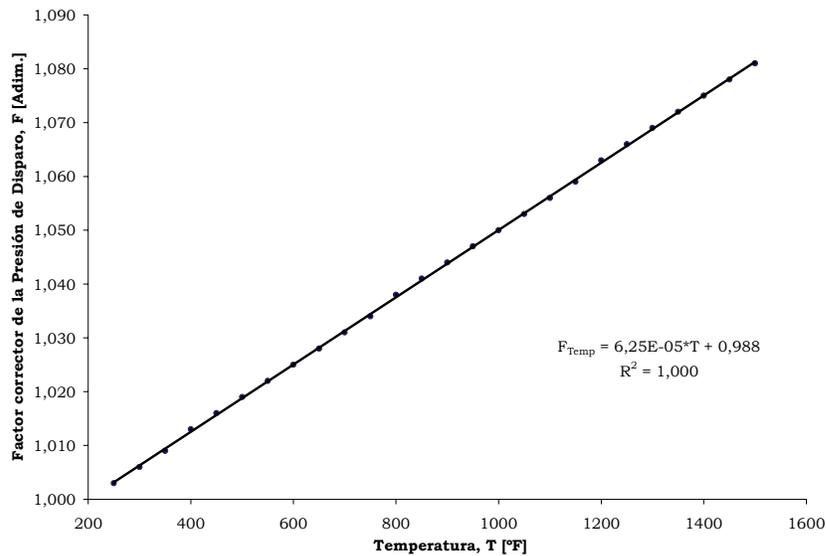


Figura 4.8: Efecto de la temperatura en el factor corrector de la presión de calibración

Al dibujar los puntos en el eje de coordenadas se observa una tendencia completamente lineal con respecto a la temperatura, cuya ecuación estaría representada por:

$$F_{Temp} = 6,25 \cdot 10^{-5} \cdot T + 0,988 \quad (23)$$

Esta ecuación se empleó para determinar el factor de corrección de la presión de calibración para 67 de las 70 válvulas identificadas, para las restantes 3 se utilizó el valor que corresponde según el intervalo de temperatura de acuerdo a las tablas 8.4 y 8.5 (Anexos). En tal sentido, las presiones de calibración que, según los cálculos realizados, deben tener las válvulas de seguridad son las mostradas en la Tabla 7.11 del Apéndice 8, de este listado general se resaltan aquellos casos considerados como críticos, cuya presión de calibración actual difiere en más de 5% de la presión de calibración que debería tener la válvula de seguridad, estos casos son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4.18: Casos críticos de desviación de la presión de calibración actual con respecto a la calculada

Unidad	Válvula	Presión de Calibración [Psig]		Desviación Calculada-Actual [%]
		Calculada	Actual	
FMAY-1/2	SV-19025	91	105	15,4
	SV-19030	79	85	7,6
	SV-20013	56	60	7,1
HDAY-2	SV-14015	429	455	6,1
	SV-14016	522	575	10,2
HDAY-3	SV-15004	895	1000	11,7
	SV-15034	727	835	14,9
HDAY-4	SV-16004	895	1000	11,7
	SV-16028	727	835	14,9
NFAY-3 / MEROX	SV-13001	119	130	9,2
	SV-13021	121	130	7,4
PSAY-5 / NFAY-4	SV-5027	80	85	6,3
SWAY-1/2	SV-20008	49	40	18,4
	SV-28006	48	40	16,7

La presión de calibración calculada ha resultado ser, en la mayoría de los casos, inferior a la presión de calibración actual que posee la válvula, esto indica que estamos en presencia de una sobrepresión adicional en los equipos que son protegidos por éstas válvulas, lo cual podría acarrear problemas futuros de índole mecánico en las válvulas de seguridad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Luego de obtenidos y analizados los resultados de este Trabajo Especial de Grado se puede concluir lo siguiente:

1. La refinería cuenta ahora con una información actualizada de su sistema de alivio de gas ácido. Sin embargo, se sugiere:
 - Elaborar las hojas de especificación de las válvulas de seguridad que no la posean de acuerdo a lo presentado en la Tabla 4.1.
 - Corregir la información suministrada en la placa de las válvulas en cuanto a equipo protegido, de acuerdo a la Tabla 4.2.
 - Pintar el bonete de las válvulas SV-19033, SV-19034, SV-19037 y SV-19038 de FMAY-1/2 y la SV-5027 de PSAY-5 de color rojo, de acuerdo al código de colores usado en el CRP.
 - Incorporar el valor de presión de disparo en la placa de las válvulas de seguridad del CRP, de manera que se diferencie cual es la presión de disparo y cual es la de calibración.

2. Las válvulas de seguridad instaladas en el sistema de alivio de gas ácido de la Refinería de Amuay son activadas principalmente por contingencias de tipo operacional (falla de controles automáticos, salidas bloqueadas, etc) y tipo incendio.

3. La carga máxima que pueden procesar los mechurrios 2 y 3 de la refinería en una contingencia sencilla es la proporcionada por la válvula SV-15034 (HDAY-3) ó por la SV-16028 (HDAY-4) debido a una salida bloqueada.
4. El programa FLARE permitió determinar la contrapresión en todas las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido, así como la cercanía al flujo sónico en algunos tramos de tubería.
5. La ventaja principal de la elaboración de un modelo de simulación con el programa FLARE es simular todas las contingencias por las que se activan las válvulas de seguridad de un sistema de alivio con una sola corrida.
6. Las desventajas de elaborar un modelo de simulación con el programa FLARE son que no posee interfaz gráfica y no indica una descripción cuantitativa de la presencia de flujo sónico en la tubería.
7. Los resultados emitidos por el simulador INPLANT difieren en 5% o menos de los emitidos por el programa FLARE.
8. Las válvulas SV-19025 (FMAY-1/2), las SV-15004, SV-15034 y SV-15045 (HDAY-3), las SV-16004, SV-16028 y SV-16041 (HDAY-4) y todas las pertenecientes a la unidad SUAY-3 presentan alta contrapresión en la descarga.
9. Las válvulas de seguridad SV-15004, SV-15034, SV-15042 y SV-15045 (HDAY-3) y las SV-16004, SV-16028, SV-16033 y SV-16041 (HDAY-4) presentan riesgo de flujo sónico en la descarga.
10. Considerar los siguientes cambios:
 - Sustituir la válvula tipo convencional SV-19025 por una tipo balanceada con el mismo tamaño de orificio.

- Sustituir las válvulas SV-15004 y SV-16004 por válvulas de tamaño 3K6 (tamaño actual: 3K4).
 - Sustituir la válvulas SV-15034 y SV-15042 (ambas de HDAY-3), SV-16028 y SV-16033 (ambas de HDAY-4), por dos válvulas de tamaño de orificio menor (actualmente son de tamaño 4P6) de manera que el flujo total sea dividido en dos, una válvula con una apertura de 100% la presión de disparo y la otra a 105%.
 - Sustituir el subcabezal de 4" de SUAY-3 por uno de 6", esto con el fin de evitar las excesivas contrapresiones que puedan generarse al momento de la apertura de válvulas de seguridad durante una contingencia de incendio en la planta.
 - Eliminar la contracción de 3x2 existente en la tubería de descarga de las válvulas SV-15045 (HDAY-3) y SV-16041 (HDAY-4) y sustituir la tubería de 2" por una de 3", de manera que exista una única tubería de 3" desde la descarga de la válvula hasta su llegada a la tubería de 16".
11. Una cantidad importante de válvulas de seguridad no está calibrada para abrir a la presión de disparo adecuada.
12. Revisar la calibración de las válvulas seguridad, de manera que se aperturen a la presión de disparo a la cual fueron diseñadas, tomando en consideración la contrapresión generada en la válvula (tipo convencional) y los efectos de la temperatura, tomar como guía la Tabla 7.11.

5.2. RECOMENDACIONES

A continuación se enlistan un par de proposiciones que se sugiere tomar en consideración para futuros trabajos relacionados a sistemas de alivio:

1. Tomar la metodología empleada en este trabajo como punto de partida para estudios posteriores en la evaluación del otro sistema de alivio de la refinería (vía Mechurrios 4 y 5).
2. Emplear una herramienta computacional más actualizada, por ejemplo INPLANT, de manera que sea más práctico el ingreso de los datos en el modelo.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. API RECOMMENDED PRACTICE 520 (2000). *Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries. Part I: Sizing and Selection*. Seventh Edition. Washington, DC.
2. API RECOMMENDED PRACTICE 521 (1997). *Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems*. Fourth Edition. Washington, DC.
3. Barajas, H. (1999). *Lista de válvulas de Seguridad que descargan a los Sistemas de Alivio del CRP-Amuay*. CRP-Amuay. Estado Falcón.
4. Castellanos W. (2008). *Dibujo Técnico*. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos13/introdn/introdn.shtml>. [Consultada, 2008, mayo 5]
5. CIED (1997). *Flujo de Fluidos para Ingenieros de Proceso*. Segunda Versión. Punto Fijo, Estado Falcón.
6. Crane (1989). *Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill. México.
7. Diener, R. (1993). *Safety/Flare-Questions: HDAY-2/3/4*. Lagoven, Estado Falcón.
8. ExxonMobil Design Practices (1994). *Safety Plant Design Pressure Relief*. Sections XV-C, XV-D and XV-E. Virginia, EEUU.
9. Garcés J. (2006). *Elaboración de listas de repuestos de las válvulas de seguridad de las plantas de Isomerización (ISAY) e Hidrodesulfuradora N°4 (HDAY-4) del Área de Conversión Media de Amuay*. CRP-Amuay. Estado Falcón.
10. Gary J. and Handwerk G. (2001). *Petroleum Refining Technology and Economics* Fourth Edition. Marcel Dekker, Inc. New York.
11. Inelectra (1998). *Bases y Criterios para la Determinación de Cargas de Alivio*. PDVSA, Centro de Refinación de Paraguaná, Estado Falcón.

12. Ing. de Proceso Sección Combustibles (1992). *Válvulas de Seguridad a los Mechurrios Nro 2 y Nro 3*. Amuay, Estado Falcón.
13. Mato J. (2006). *Elaboración de lista de repuestos de las válvulas de Seguridad del área Hidrodesulfuradora de Amuay*. CRP-Amuay. Estado Falcón.
14. PDVSA (1997). *Manual de Diseño de Proceso. Consideración de Contingencia y Determinación de los Flujos de Alivio. (MDP-08-SA-02)*. Venezuela.
15. PDVSA (1996). *Manual de Diseño de Proceso. Flujo en Fase Gaseosa. (MDP-02-FF-04)*. Venezuela.
16. PDVSA (1996). *Manual de Diseño de Proceso. Flujo en Fase Líquida. (MDP-02-FF-03)*. Venezuela.
17. PDVSA (1997). *Manual de Diseño de Proceso. Procedimientos para especificar y dimensionar Válvulas de Alivio de Presión. (MDP-08-SA-04)*. Venezuela.
18. PDVSA (1997). *Manual de Ingeniería de Diseño. Procedimientos Isométrico Manual. (L-TDP-104.3)*. Venezuela.
19. PDVSA (1990). *Manual de Ingeniería de Diseño. Sistemas de Alivio. (90616.1.022)*. Venezuela.
20. Perry R. y Green D. (2001). *Manual del Ingeniero Químico. Volumen IV. Séptima Edición*. Editorial McGraw-Hill. Madrid, España.
21. Proyecto AMAY (1998). *Manual de Operaciones de Mechurrio 2 y 3*. CRP, Estado Falcón.
22. Santa Ana A., Aguado E., Gómez P y Andrade R (1998). *Procedimiento para dimensionar y seleccionar válvulas de relevo de presión*. México. Disponible en: <http://www.lmnoeng.com/moody.htm> [Consultada: 2008, abril]
23. Simsci-Esscor. Disponible en: <http://www.simsci-esscor.com/us/eng/products/productlist/Plant+Simulator+Solutions.htm> [Consultada: 2008, marzo 25].
24. Superintendencia de Diseño y Nuevos Desarrollos (2001). *Simulación del sistema de alivio del complejo HDS del CRP-Amuay con el programa FLARE*. CRP-Amuay, Estado Falcón.
25. *Wikipedia. Enciclopedia Libre*. Disponibles:

- http://es.wikipedia.org/wiki/Plantas_de_procesamiento_del_gas_natural
- http://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivos_de_Alivio_de_Presi%C3%B3n
- http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_de_alivio_de_presi%C3%B3n

[Consultadas: 2008, marzo].

CAPÍTULO VII

APÉNDICES

APÉNDICE 1. LISTADO DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD QUE DESCARGAN AL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO DE LA REFINERÍA

Tabla 7.1: Listado de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio de gas ácido de la refinería

UNIDAD	TAG DE LA VÁLVULA	EQUIPO PROTEGIDO	PRESIÓN DE DISPARO, PDISP (PSIG)	TAMAÑO	TIPO ^[1]	MARCA ^[2]	MODELO ^[2]
ALAY	SV-37023	T-2701	227	6 R 10	B	CONSOLIDATED	1910-30RT/M2-XDA
FMAY-1/2	SV-19006	T-703	85	4 P 6	B	CONSOLIDATED	1905-30P
	SV-19019	FIL-701 B	251	1 D 2	C	CONSOLIDATED	1905DC-2-SG10
	SV-19020	FIL-701 A	251	1 D 2	C	CONSOLIDATED	1905DC-2-SG10
	SV-19023	FIL-704 B	251	1 D 2	C	CONSOLIDATED	1905DC-2-SG10
	SV-19024	FIL-704 A	251	1 D 2	C	CONSOLIDATED	1905DC-2-SG10
	SV-19025	D-713	105	1,5 F 2	C	CONSOLIDATED	1905FC-1-SG10
	SV-19026	D-705	105	1,5 H 3	C	CONSOLIDATED	1905HC-1-SG10
	SV-19027	T-703	89	4 P 6	B	CONSOLIDATED	1905-30PC-2-SG15
	SV-19029	D-704	85	1,5 G 2,5 ^[3]	C	CONSOLIDATED	1905GC-1-SG10
	SV-19030	D-703	85	2 J 3	C	CONSOLIDATED	1905JC-2-SG10
	SV-19033	C-701 A	105	4 M 6	B	CONSOLIDATED	1905-30M
	SV-19034	C-701 B	105	4 M 6	B	CONSOLIDATED	1905-30M
	SV-19035	D-711	85	6 Q 8	B	CONSOLIDATED	1905-30QC
	SV-19036	D-716	85	6 Q 8	B	CONSOLIDATED	1905-30QC
	SV-19037	E-713	70	3 L 4	B	CONSOLIDATED	1905-30LC-1-SG15
	SV-19038	FIL-703	85	1 D 2	B	CONSOLIDATED	1905-30DC-2-SG15
	SV-19039	C-701 A	60	6 Q 8	B	CONSOLIDATED	1905-30QC-2-SG15
	SV-19040	C-701 B	60	6 Q 8	B	CONSOLIDATED	1905-30QC-2-SG15
	SV-19041	D-711 / D-716	89	6 Q 8	B	CONSOLIDATED	1905EC-2
	SV-19044	FIL-705	251	1 E 2	C	CONSOLIDATED	1905EC-2
	SV-19045	D-717	60	1,5 H 3	B	CONSOLIDATED	1905-30HC-1-SG15
	SV-19046	D-701	60	3 L 4	B	CONSOLIDATED	1905-30LC-SG15
	SV-19047	D-702	60	3 L 4	B	CONSOLIDATED	1905-30LC-SG15
SV-20013	D-712	60	2 J 3	C	CONSOLIDATED	1905J	

Tabla 7.1: Listado de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio de gas ácido de la refinería (Cont.)

UNIDAD	TAG DE LA VÁLVULA	EQUIPO PROTEGIDO	PRESIÓN DE DISPARO, PDISP (PSIG)	TAMAÑO	TIPO ^[1]	MARCA ^[2]	MODELO ^[2]
HDAY-2	SV-14004	D-507 / C-501 A	575	2 H 3	C	CONSOLIDATED	1910 HC
	SV-14005	D-509 / C-501 B	575	2 H 3	C	CONSOLIDATED	1910 HC
	SV-14007	D-501	455	4 P 6	B	CONSOLIDATED	1910-30 PT
	SV-14015	T-501	430	4 M 6	C	CONSOLIDATED	1920 M
	SV-14016	E-503	575	3 K 4	C	CONSOLIDATED	1910 KC
	SV-14019	E-505	70	4 P 6	C	CONSOLIDATED	1905 P
HDAY-3	SV-15004	C-301	1000	3 K 4	C	CONSOLIDATED	1912KC
	SV-15033	D-316	130	4 N 6	C	CONSOLIDATED	1905NC-2
	SV-15034	D-301	835	4 P 6	C	CONSOLIDATED	1914PT-2
	SV-15037	E-305 A/B	100	4 P 6	B	CONSOLIDATED	190530PC-2
	SV-15042	T-301	745	4 P 6	P	ANDERSON GREENWOOD	22312P46/S1
	SV-15045 ^[4]	F-301	60	2 J 3	B		
HDAY-4	SV-16004	C-351	1000	3 K 4	C	CONSOLIDATED	1912KC
	SV-16027	D-366	130	4 N 6	C	CONSOLIDATED	1905 NC-SG10
	SV-16028	D-351	835	4 P 6	C	CONSOLIDATED	1914PT-2-XSS1MC752
	SV-16033	T-351	745	4 P 6	P	ANDERSON GREENWOOD	22312P46/S1
	SV-16038	E-355 A/B	100	4 P 6	B	CONSOLIDATED	1905-30PC-2
	SV-16041 ^[5]	F-351	60	2 J 3	B		
NFAY-3/ MEROX	SV-13001	T-1001	130	4 N 6	C	CONSOLIDATED	1905N-2
	SV-13007	D-1090	130	4 L 6	B	CONSOLIDATED	191030LC
	SV-13008	R-1090 A	150	4 L 6	B	CONSOLIDATED	191030L
	SV-13009	D-1091	130	4 L 6	B	CONSOLIDATED	191030LC
	SV-13010	D-1094 A	130	3 L 4	B	CONSOLIDATED	190530LC
	SV-13011	R-1090 B	150	4 L 6	B	CONSOLIDATED	191030L
	SV-13016	D-1002	40	3 K 4	B	CROSBY	JBS-25-A

Tabla 7.1: Listado de las válvulas de seguridad que descargan al sistema de alivio de gas ácido de la refinería (Cont.)

UNIDAD	TAG DE LA VÁLVULA	EQUIPO PROTEGIDO	PRESIÓN DE DISPARO, PDISP (PSIG)	TAMAÑO	TIPO ^[1]	MARCA ^[2]	MODELO ^[2]
NFAY-3 / MEROX (Cont.)	SV-13019	D-1001	33	1,5 G 3	B	CONSOLIDATED	190530G
	SV-13020	D-1001	35	4 M 6	B	CONSOLIDATED	190530MC
	SV-13021 ^[6]	D-1094 B	130	1 E 2	C	CONSOLIDATED	1906EC-2
PSAY-5 / NFAY-4	SV-5019	C-401	80	4 N 6	B	CONSOLIDATED	1905-30NC/SPEC-2- XMY10-OS213
	SV-5024	D-403	428	1,5 G 2,5 ^[3]	B	CONSOLIDATED	1922-30GT/SPEC-1- XMY1-OS-213
	SV-5025	D-402	300	1,5 G 2,5 ^[3]	B	CONSOLIDATED	1910-30GT/SPEC-1- SMY5-OS-213
	SV-5026	D-406	170	2 J 3	B	CONSOLIDATED	1905-30JC/SPEC-2- XMY14-OS-213
	SV-5027	D-413	80	1,5 G 2,5 ^[3]	B	CONSOLIDATED	1905-30GC/SPEC-1- XMY7-OS-213
	SV-5033	LN AMONIACO	250	0,75 X 1	C	CONSOLIDATED	1975T
SUAY-3	SV-43029	LN GAS NATURAL	95	2" J 3"	B	CONSOLIDATED	1905-30JC
	SV-43041	D-974	50	1,5 F 2	B	CONSOLIDATED	1905-30 FC
	SV-43042	D-973	50	2 J 3	B	CONSOLIDATED	1905-30 JC-2
SWAY-1/2	SV-20008	D-2302	50	3 L 4	C	CONSOLIDATED	1905LC
	SV-20016	D-2371	150	1,5 H 3	C	CONSOLIDATED	1905HC-1-SG10
	SV-20017	D-2371	110	2 J 3	C	CONSOLIDATED	1905JC-2-LA-SG10
	SV-20018	D-2301	85	1,5 G 2,5 ^[3]	B	CONSOLIDATED	1905-30GC-1
	SV-20019	D-2373	150	1 D 2	C	CONSOLIDATED	1905DC-2-SG10
	SV-20020	D-2372	50	1,5 F 2	B	CONSOLIDATED	190530FC-1-SG15
	SV-28006	D-2352	50	3 L 4	C	CONSOLIDATED	1905LC
	SV-15039 ^[4]	LN GAS NATURAL	205	1 E 2	C	CONSOLIDATED	1905EC-2

Notas de la Tabla 7.1:

1. Las letras significan: C: válvula Convencional, B: válvula Balanceada y P: válvula operada por Piloto.
2. Información suministrada por el área de Inspección de Equipos.
3. El tamaño no aparece especificado en el listado del fabricante, sin embargo, es el indicado en la data sheet, PID también fue la medida en el área. Inspección de Equipos indica que el tamaño correcto debe ser 1,5 G 3.
4. Etiqueta provisional. Ésta válvula fue montada directamente de fábrica, no paso antes por el taller para su calibración, numeración e identificación en campo. Se está procesando su desmontaje, una vez asignado el número de la válvula dentro de la unidad debe actualizarse ésta información de ser necesario.
5. Etiqueta provisional. Actualmente no está instalada en el área pero será instalada en la próxima parada parcial de HDAY-4, exactamente igual a la 15045 de HDAY-3 (ya que son plantas gemelas), una vez asignado el número de la válvula dentro de la unidad debe actualizarse ésta información de ser necesario.
6. Actualmente no está instalada en el área, se encuentra en el taller esperando por repuesto.
7. Se está procesando su traslado al taller para mantenimiento y asignación de placa ya que no la posee. La válvula pertenece a HDAY-3/4 pero físicamente se encuentra ubicada en SWAY-1/2.

**APÉNDICE 2. CARGAS DE ALIVIO QUE PROCESAN LAS VÁLVULAS DE
SEGURIDAD DEL SISTEMA DE ALIVIO DE GAS ÁCIDO**

Tabla 7.2: Cargas de alivio que procesan las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido

UNIDAD	TAG DE LA VÁLVULA	FALLA AGUA ENFRIAM.			FALLA ELÉCTRICA			INCENDIO			FALLA OPERACIONAL		
		W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]
ALAY	SV-37023	360,00	58,0	470	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Desc. max simultánea</i>	<i>360,00</i>	<i>58,0</i>	<i>470</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FMAY-1/2	SV-19006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,30	23,2	120
	SV-19019	-	-	-	-	-	-	0,24	18,0	423	-	-	-
	SV-19020	-	-	-	-	-	-	0,24	18,0	423	-	-	-
	SV-19023	-	-	-	-	-	-	0,90	18,0	423	-	-	-
	SV-19024	-	-	-	-	-	-	0,90	18,0	423	-	-	-
	SV-19025	-	-	-	-	-	-	4,52	86,2	330	-	-	-
	SV-19026	-	-	-	-	-	-	7,69	59,0	345	-	-	-
	SV-19027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,30	23,2	120
	SV-19029	-	-	-	-	-	-	4,76	72,0	340	-	-	-
	SV-19030	-	-	-	-	-	-	6,03	18,0	334	-	-	-
	SV-19033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,12	41,1	267
	SV-19034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,12	41,1	267
	SV-19035	-	-	-	-	-	-	10,48	18,0	334	52,10	9,9	110
	SV-19036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52,62	9,9	110
	SV-19037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,00	18,0	300
	SV-19038	-	-	-	-	-	-	0,82	72,0	237	-	-	-
	SV-19039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,12	41,1	227
	SV-19040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,12	41,1	227
	SV-19041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51,20	9,9	110
SV-19044	-	-	-	-	-	-	2,62	18,0	423	-	-	-	
SV-19045	-	-	-	-	-	-	3,33	18,0	310	-	-	-	
SV-19046	-	-	-	-	-	-	1,11	18,0	319	12,90	34,0	110	
SV-19047	-	-	-	-	-	-	1,11	18,0	319	12,90	34,0	110	

Tabla 7.2: Cargas de alivio que procesan las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido(Cont.)

UNIDAD	TAG DE LA VÁLVULA	FALLA AGUA ENFRIAM.			FALLA ELÉCTRICA			INCENDIO			FALLA OPERACIONAL		
		W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]
FMAY-1/2 (Cont.)	SV-20013	-	-	-	-	-	-	4,01	18,0	286	-	-	-
	<i>Desc. máx. simultánea</i>	-	-	-	-	-	-	48,75	24,6	338	155,92	9,9	110
HDAY-2	SV-14004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,20	8,1	170
	SV-14005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,20	8,1	170
	SV-14007	-	-	-	-	-	-	12,10	200,0	585	86,70	25,5	560
	SV-14015	2,9	11,9	214	-	-	-	6,10	58,6	190	-	-	-
	SV-14016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,00	3,4	206
	SV-14019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,10	12,2	62
	<i>Desc. máx. simultánea</i>	2,9	11,9	214	-	-	-	18,20	110,6	335	86,70	25,5	560
HDAY-3	SV-15004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62,80	8,4	169
	SV-15033	-	-	-	-	-	-	3,37	138,0	200	25,48	9,9	114
	SV-15034	-	-	-	-	-	-	58,50	276,0	1080	212,33	19,3	630
	SV-15037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,50	13,4	101
	SV-15042	-	-	-	-	-	-	75,40	193,0	974	87,72	2,7	120
	SV-15045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,63	25,2	150
	<i>Desc. máx. simultánea</i>	-	-	-	-	-	-	137,27	218,9	980	212,33	19,3	630
HDAY-4	SV-16004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62,80	8,4	169
	SV-16027	-	-	-	-	-	-	3,37	138,0	200	25,48	9,9	114
	SV-16028	-	-	-	-	-	-	58,50	276,0	1080	212,33	19,3	630
	SV-16033	-	-	-	-	-	-	75,40	193,0	974	87,72	2,7	120
	SV-16038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,50	13,4	101
	SV-16041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,63	25,2	150
	<i>Desc. máx. simultánea</i>	-	-	-	-	-	-	137,27	218,9	980	212,33	19,3	630

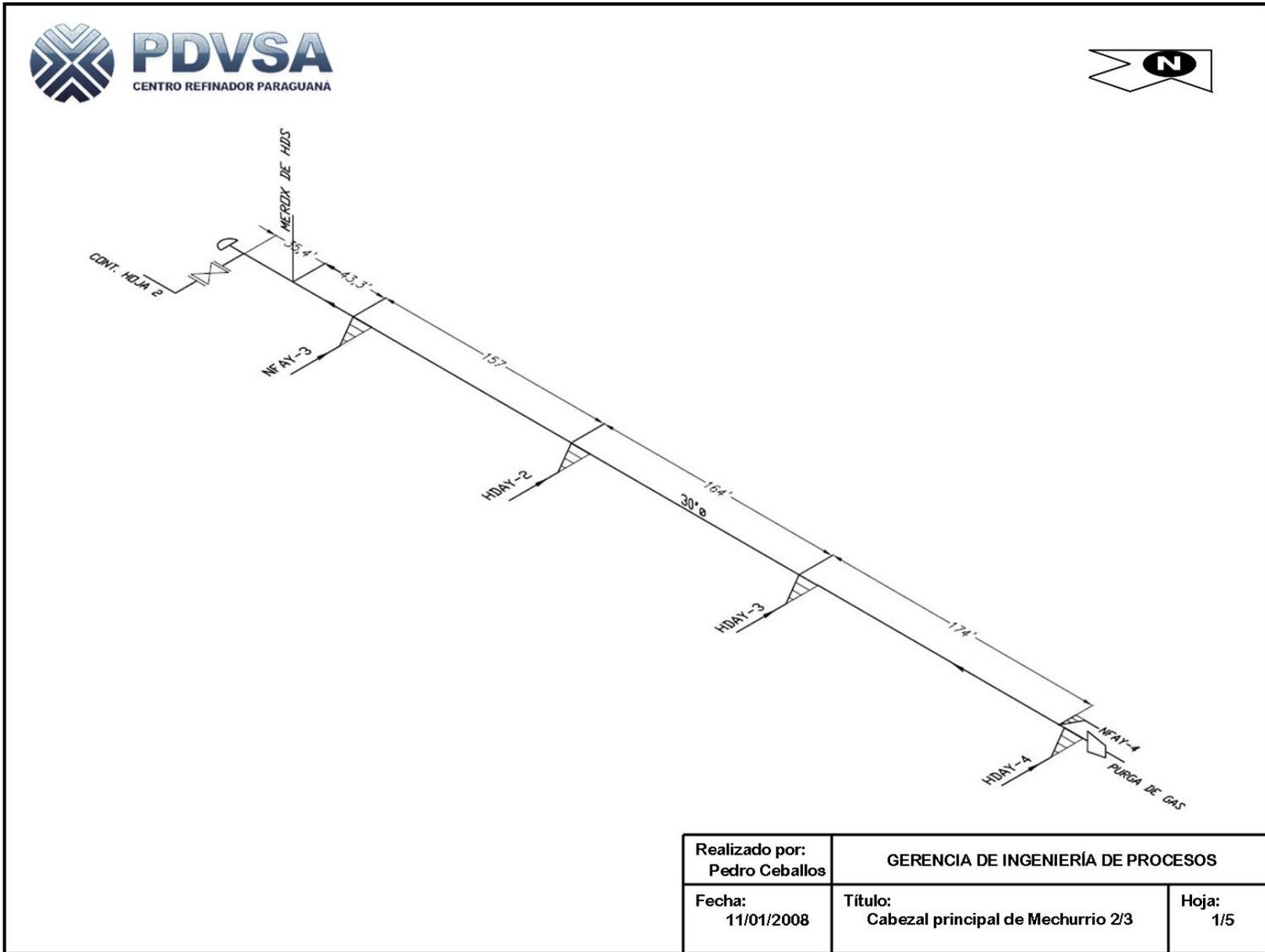
Tabla 7.2: Cargas de alivio que procesan las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido(Cont.)

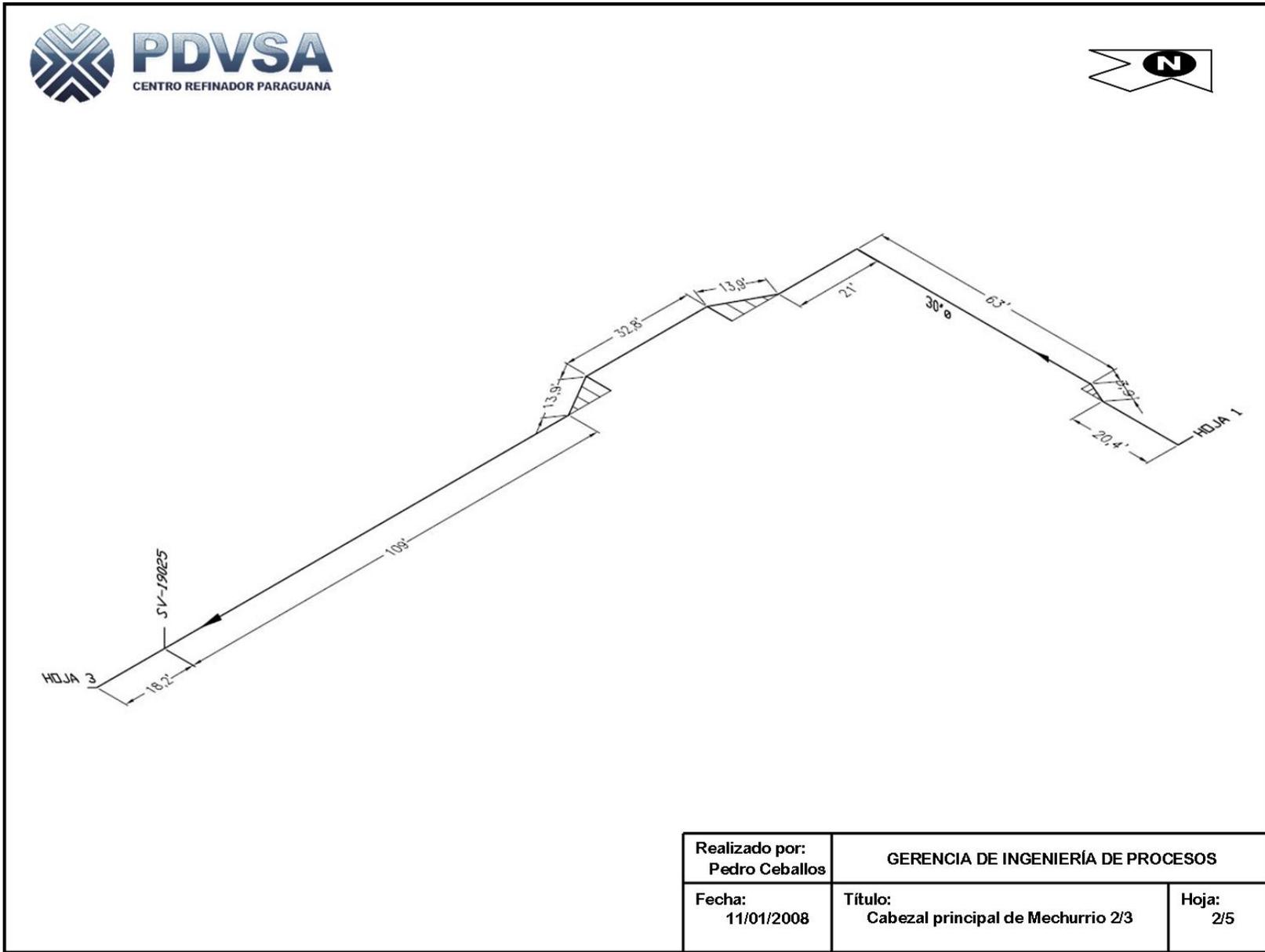
UNIDAD	TAG DE LA VÁLVULA	FALLA AGUA ENFRIAM.			FALLA ELÉCTRICA			INCENDIO			FALLA OPERACIONAL		
		W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]
NFAY-3/ MEROX	SV-13001	-	-	-	-	-	-	3,25	87,9	406	70,01	84,8	213,7
	SV-13007	-	-	-	-	-	-	47,61	111,0	460	-	-	-
	SV-13008	-	-	-	-	-	-	4,34	111,0	475	-	-	-
	SV-13009	-	-	-	-	-	-	47,62	111,0	460	-	-	-
	SV-13010	-	-	-	-	-	-	37,68	111,0	460	-	-	-
	SV-13011	-	-	-	-	-	-	4,34	111,0	475	-	-	-
	SV-13016	-	-	-	-	-	-	2,01	86,5	317,4	-	-	-
	SV-13019	-	-	-	-	-	-	4,62	107,0	370	-	-	-
	SV-13020	-	-	-	-	-	-	4,62	107,0	370	-	-	-
	SV-13021	-	-	-	-	-	-	3,22	111,0	460	3,22	111,0	100
	<i>Desc. máx. simultánea</i>	-	-	-	-	-	-	159,30	109,8	452	70,01	84,8	213,7
PSAY-5/ NFAY-4	SV-5019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,00	45,7	215
	SV-5024	-	-	-	-	-	-	34,50	180,6	885	-	-	-
	SV-5025	-	-	-	-	-	-	29,50	138,7	685	-	-	-
	SV-5026	-	-	-	-	-	-	23,30	88,7	325	-	-	-
	SV-5027	-	-	-	-	-	-	4,43	72,3	244	-	-	-
	SV-5033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	491,3	480
		<i>Desc. máx. simultánea</i>	-	-	-	-	-	-	91,73	126,1	570	33,00	45,7
SUAY-3	SV-43029	-	-	-	-	-	-	8,58	19,3	80	-	-	-
	SV-43041	-	-	-	-	-	-	0,81	18,0	308	-	-	-
	SV-43042	-	-	-	-	-	-	3,33	18,0	308	-	-	-
		<i>Desc. máx. simultánea</i>	-	-	-	-	-	-	12,73	18,9	158	-	-

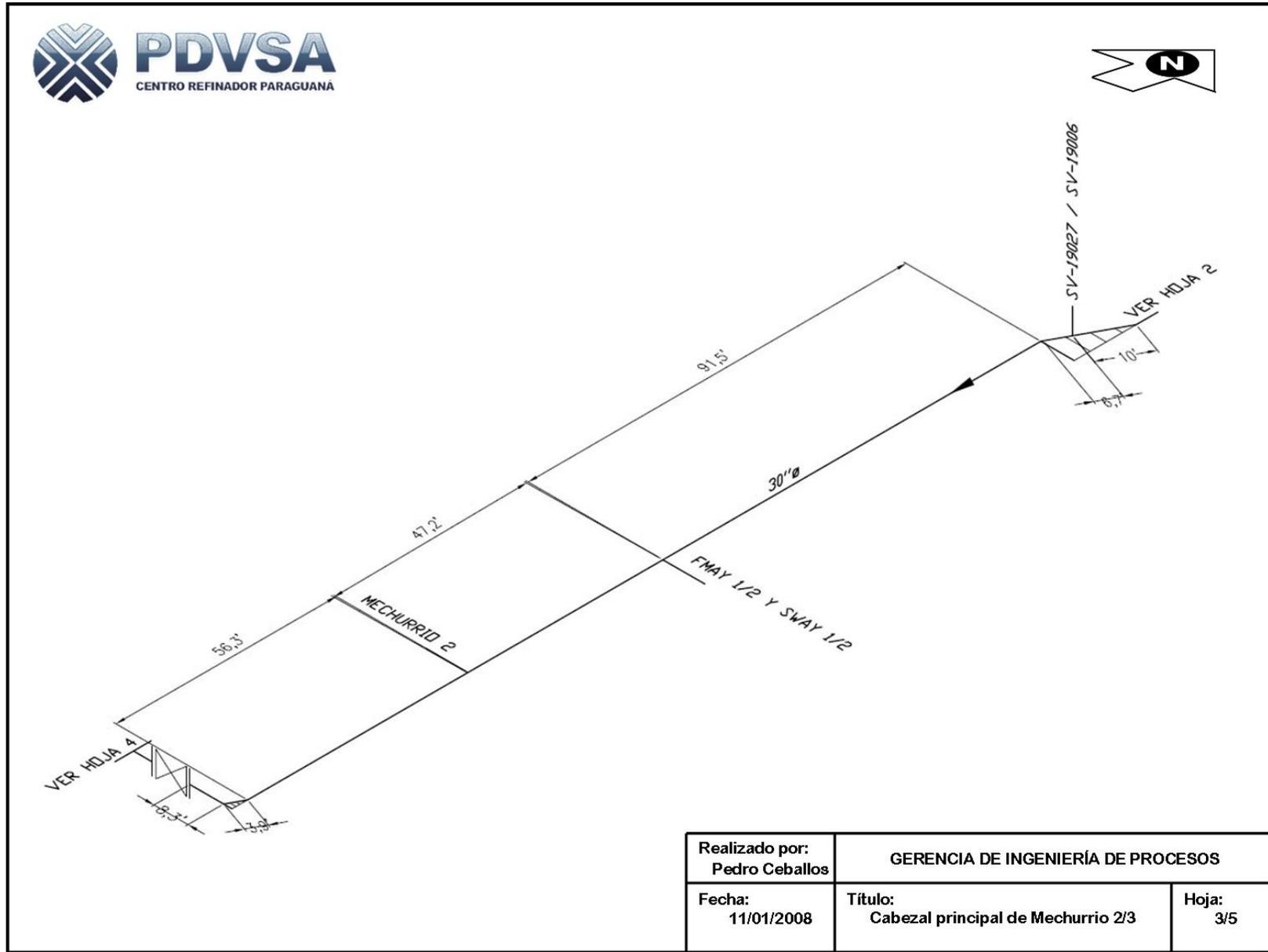
Tabla 7.2: Cargas de alivio que procesan las válvulas de seguridad del sistema de alivio de gas ácido(Cont.)

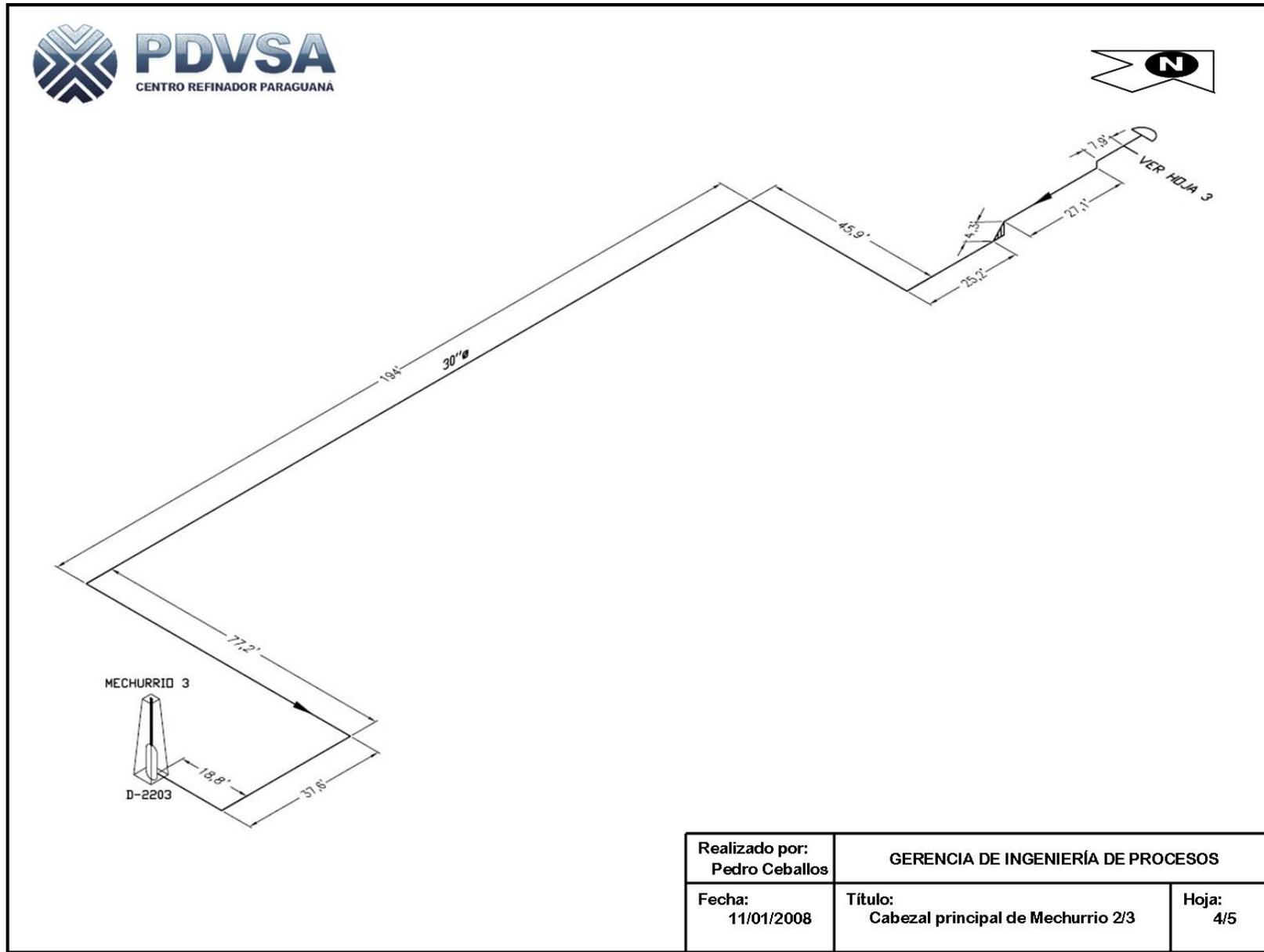
UNIDAD	TAG DE LA VÁLVULA	FALLA AGUA ENFRIAM.			FALLA ELÉCTRICA			INCENDIO			FALLA OPERACIONAL		
		W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]	W [Klb/h]	PM [lb/lbmol]	T [°F]
SWAY-1/2	SV-20008	-	-	-	-	-	-	3,26	18,0	308			
	SV-20016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,42	8,5	110
	SV-20017	-	-	-	-	-	-	4,84	72,1	252	-	-	-
	SV-20018	-	-	-	-	-	-	2,23	18,0	340	-	-	-
	SV-20019	-	-	-	-	-	-	0,53	18,0	380	-	-	-
	SV-20020	-	-	-	-	-	-	1,17	18,0	308	-	-	-
	SV-28006	-	-	-	-	-	-	3,26	18,0	308			
	SV-15039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	19,5	80
	<i>Desc. máx. simultánea</i>	-	-	-	-	-	-	<i>15,29</i>	<i>23,6</i>	<i>312</i>	<i>5,42</i>	<i>8,5</i>	<i>110</i>

APÉNDICE 3. ALGUNOS DE LOS PLANOS ISOMÉTRICOS DIBUJADOS

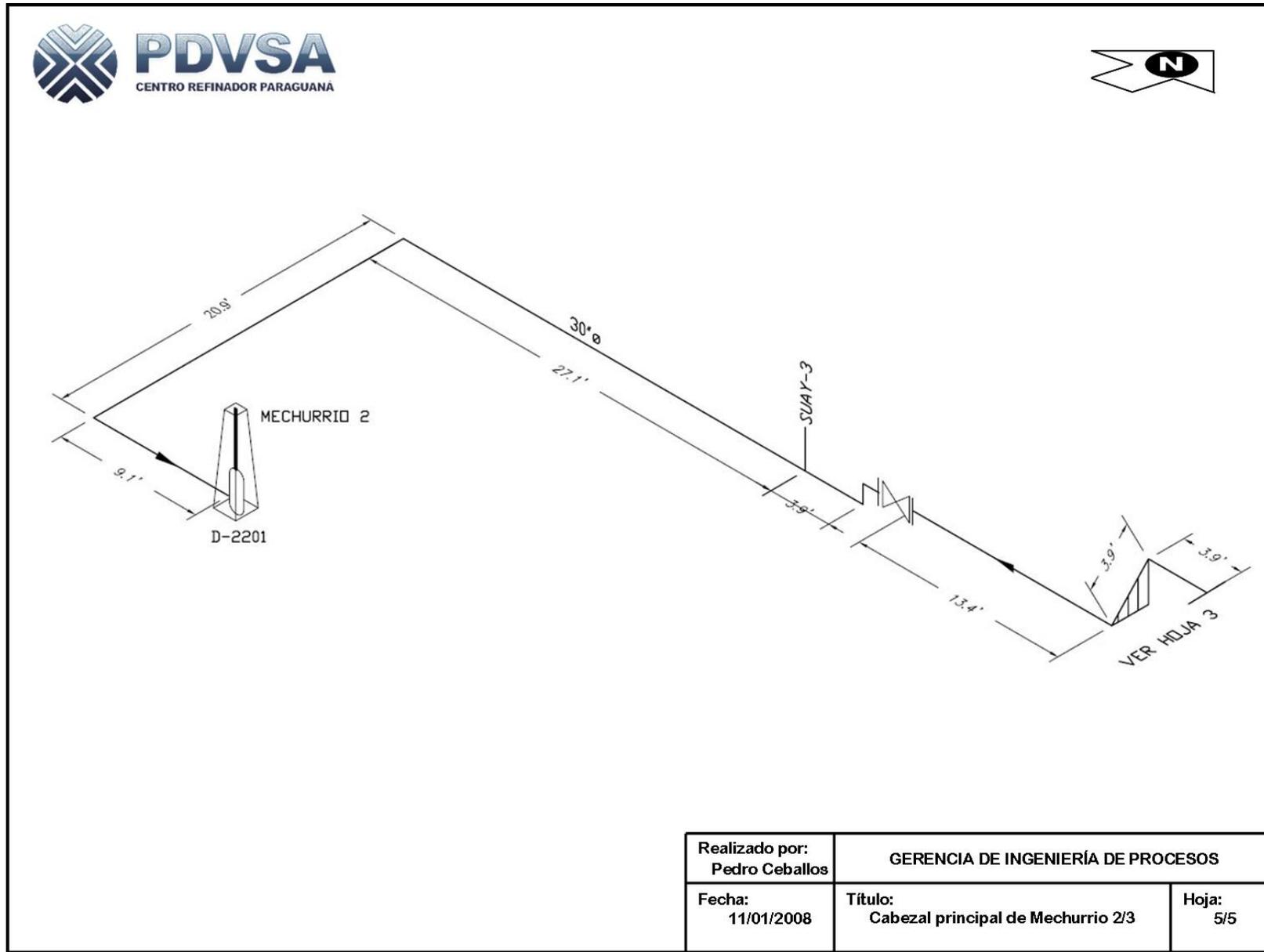




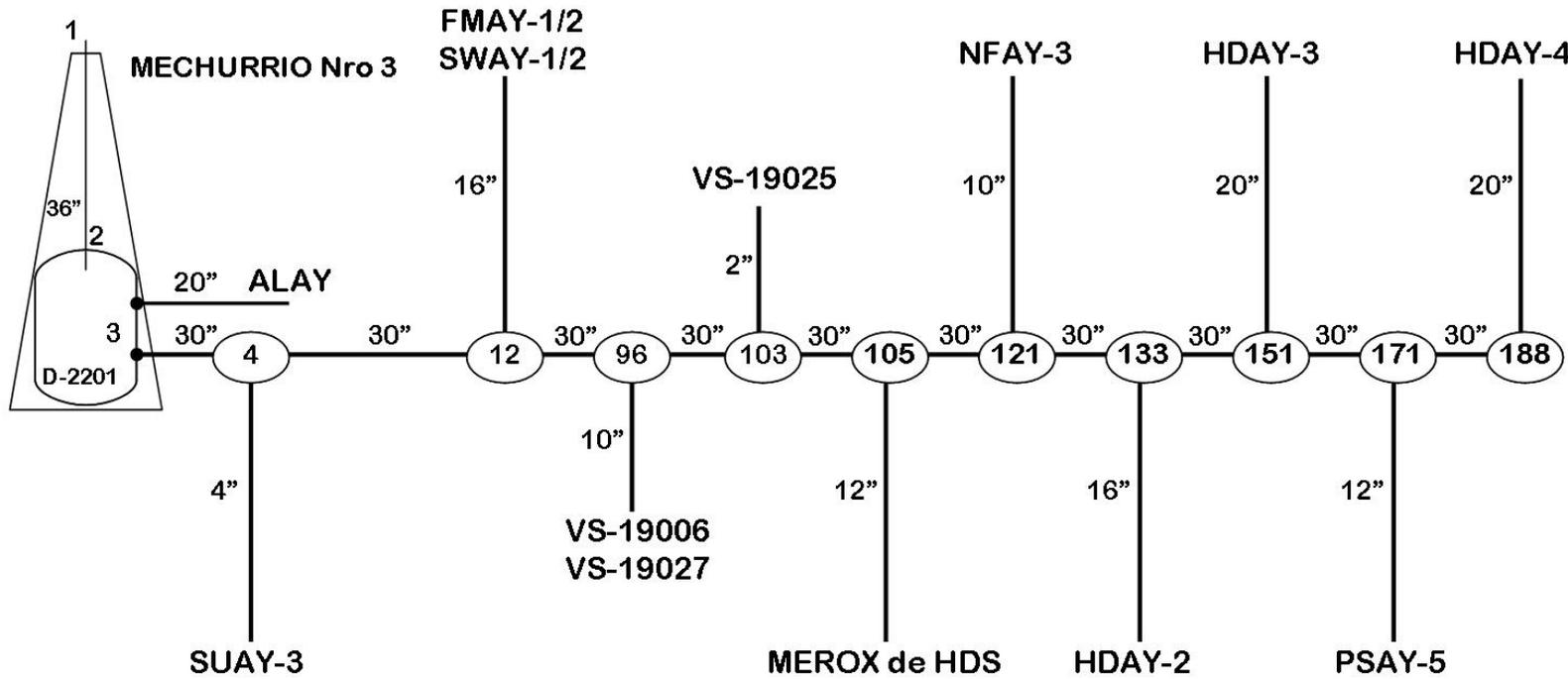




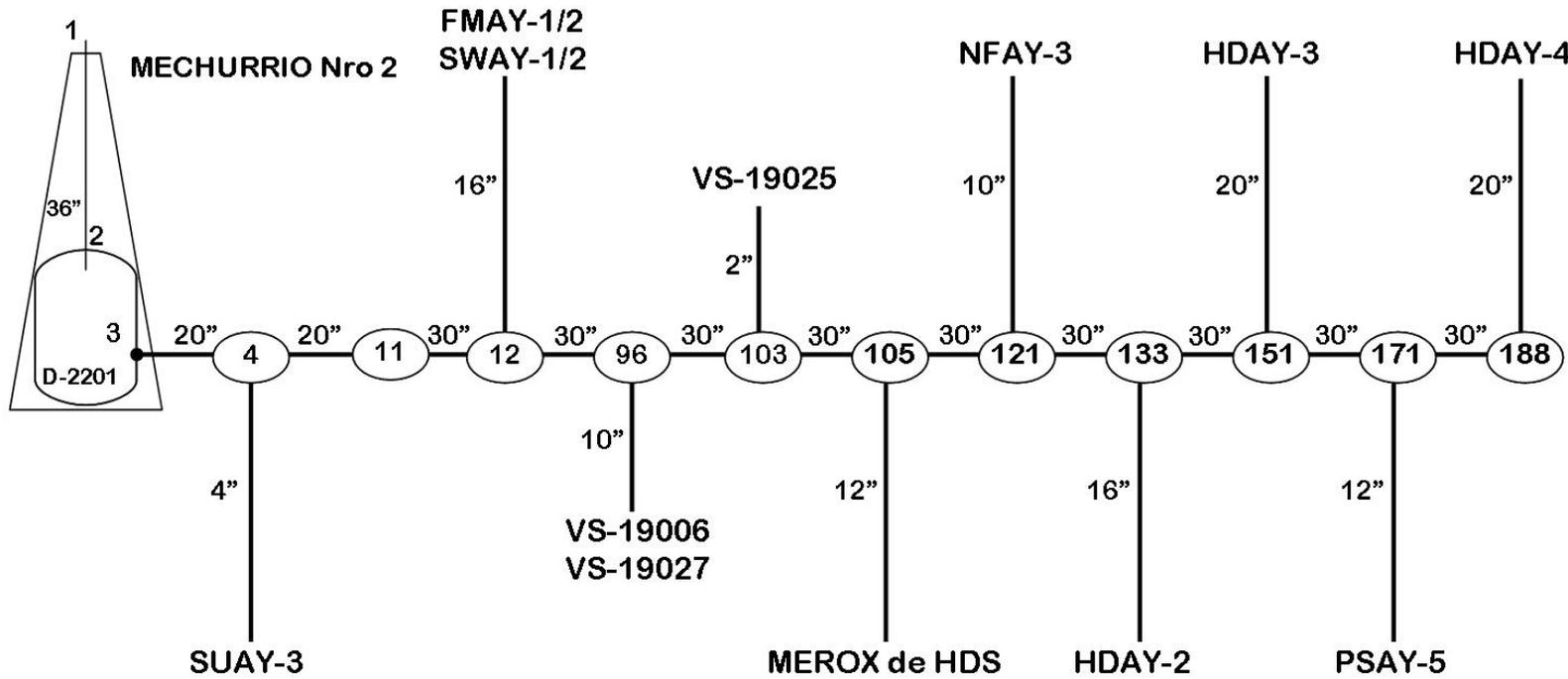
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS	
Fecha: 11/01/2008	Título: Cabezal principal de Mechurrido 2/3	Hoja: 4/5



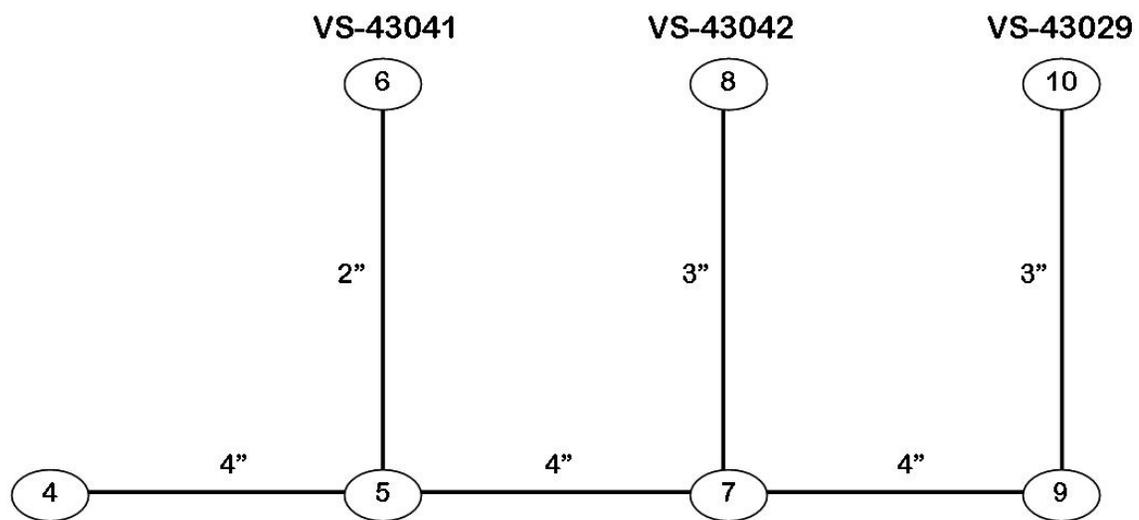
APÉNDICE 4. DIAGRAMAS DE NODOS



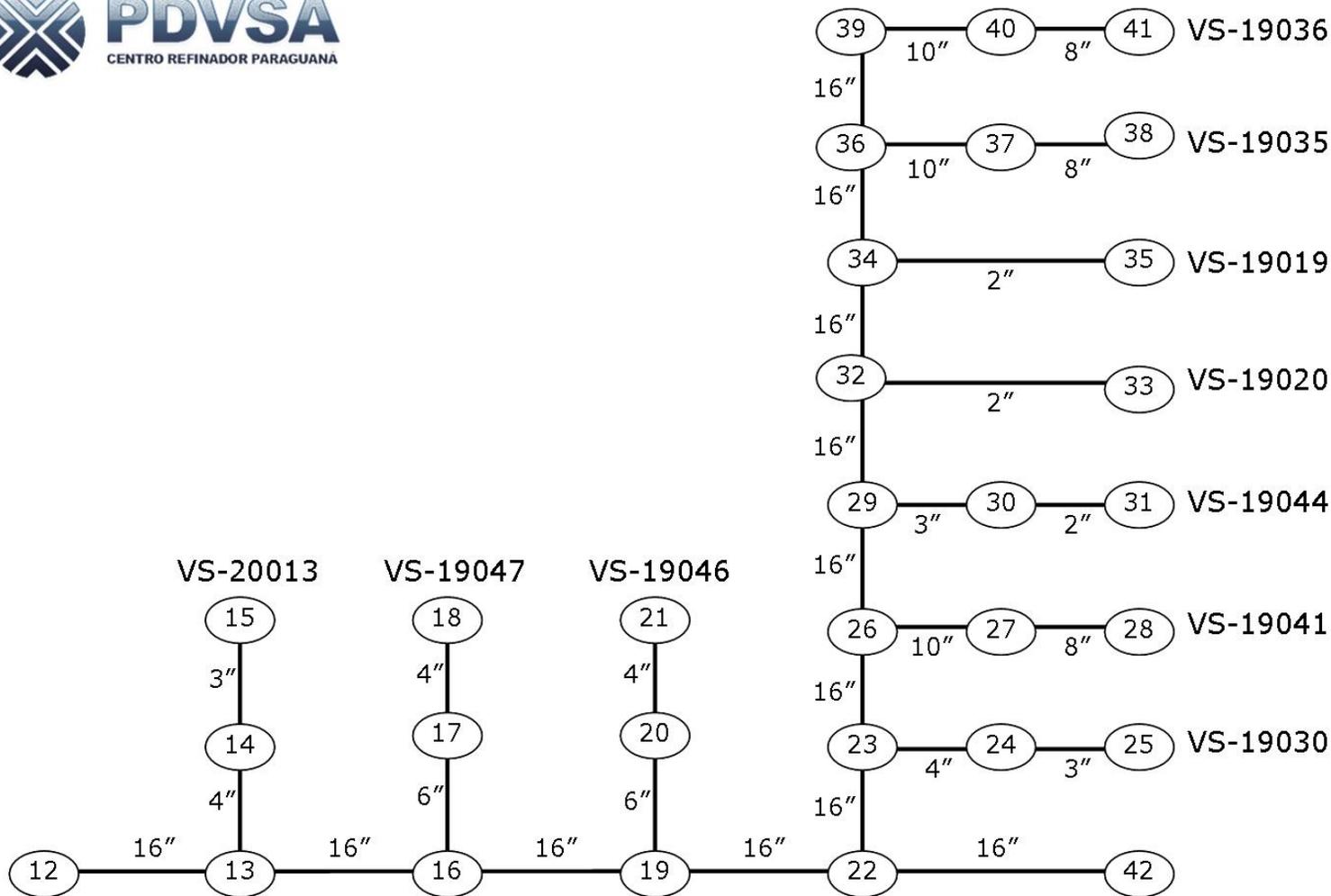
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos General de Mechurrio Nro 3



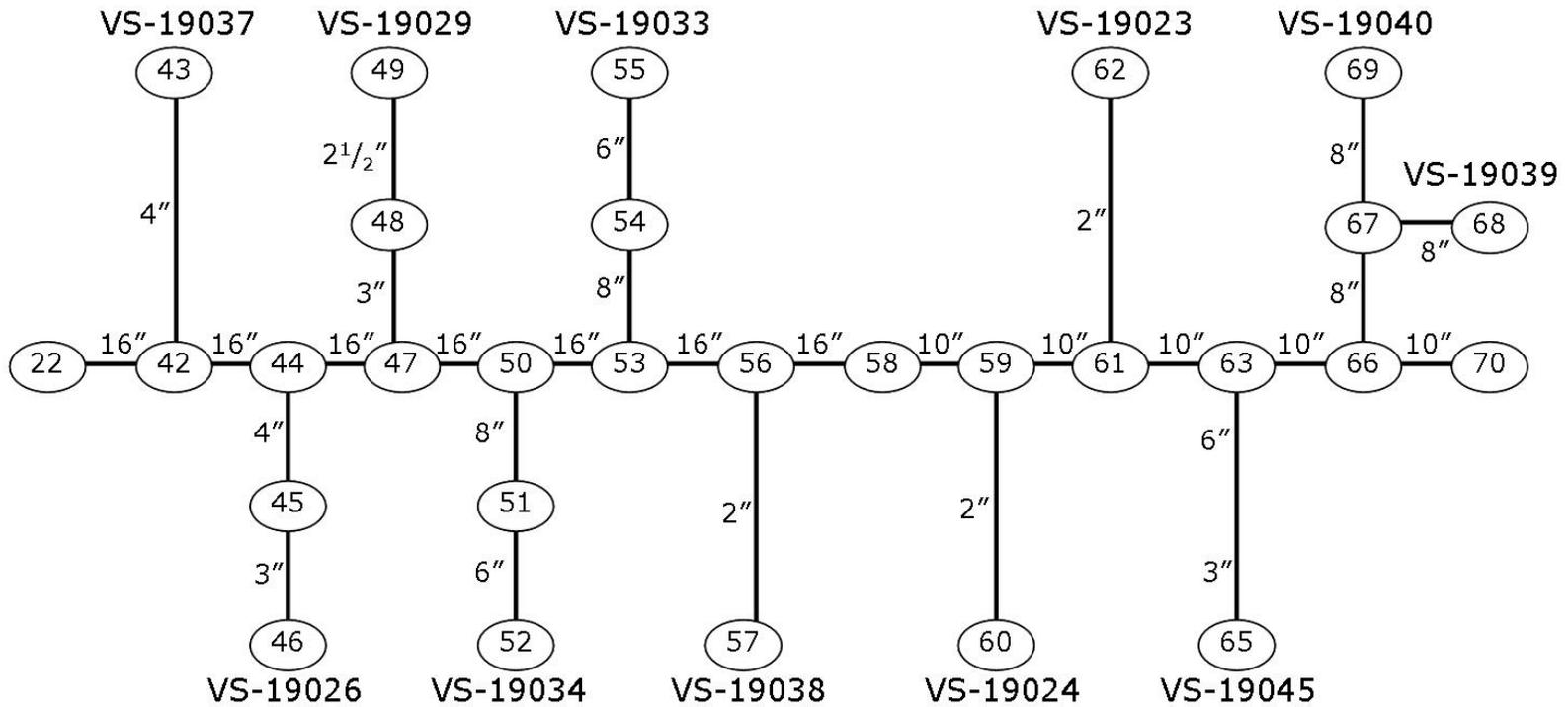
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos General de Mechurrio Nro 3



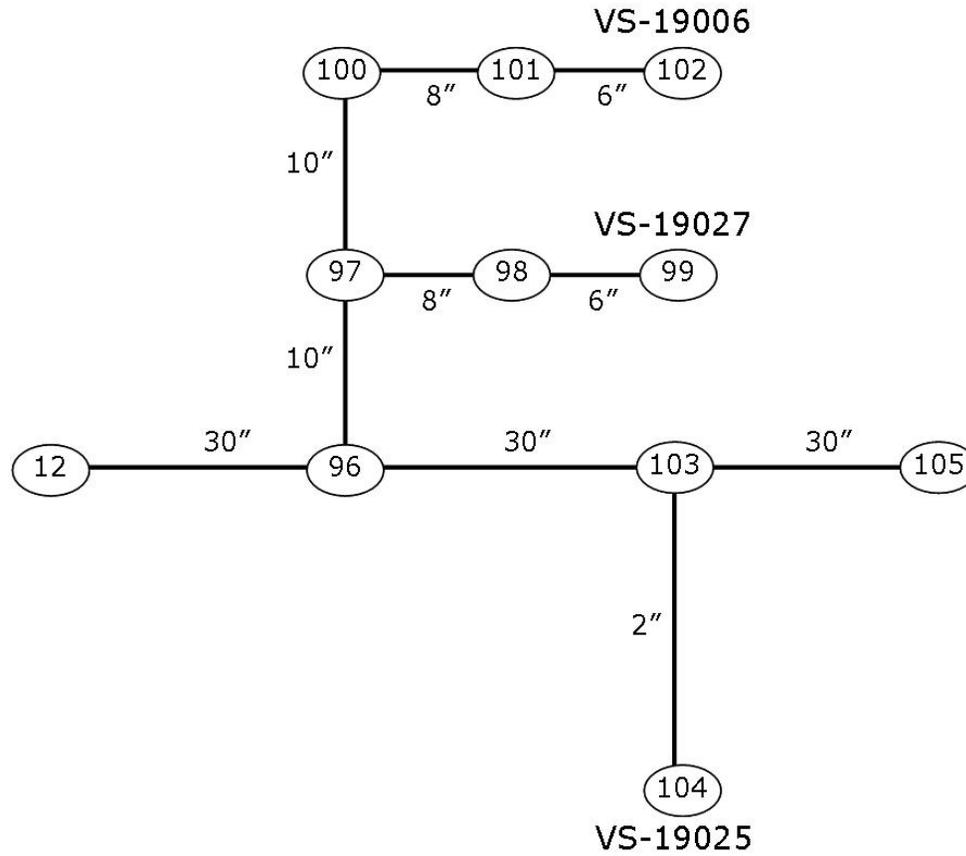
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad SUAY-3



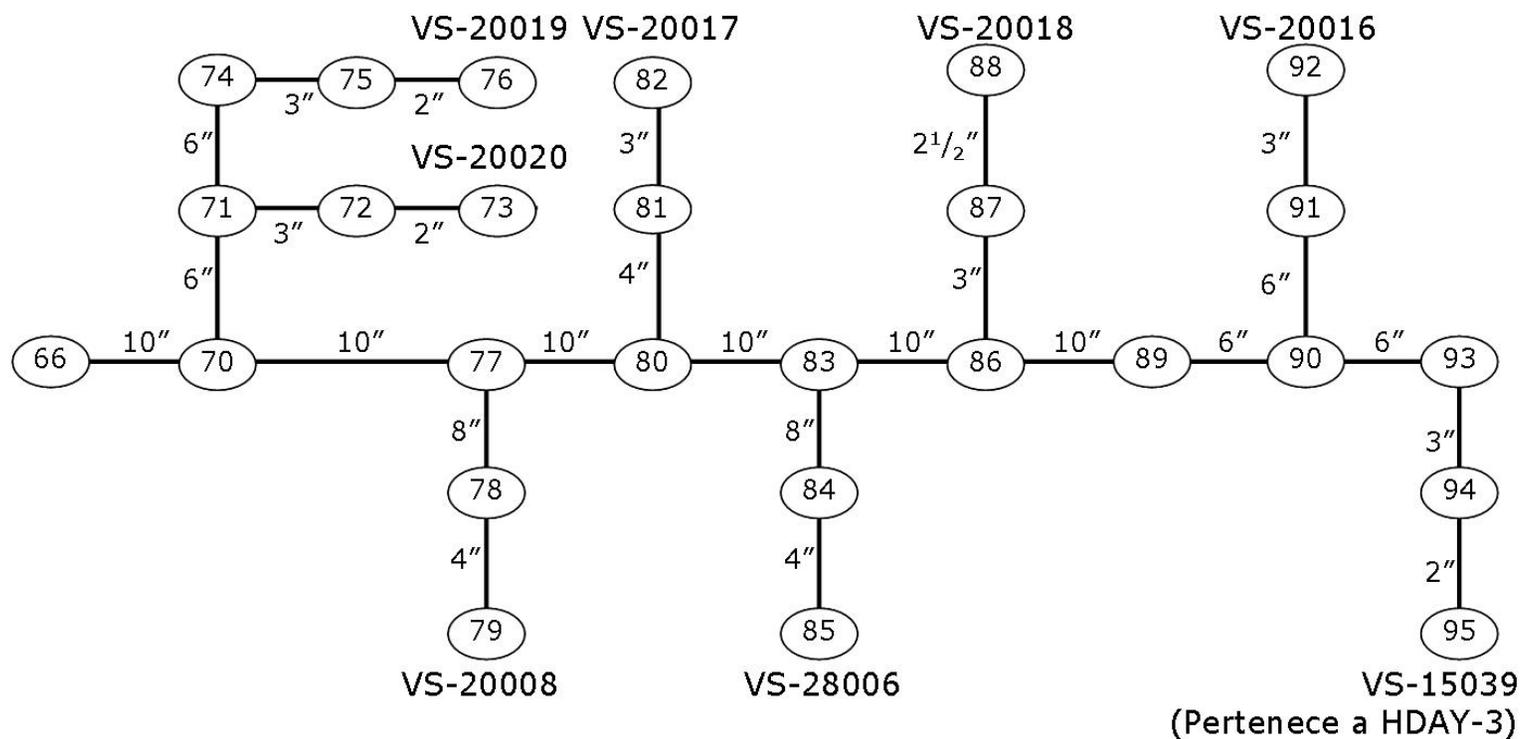
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad FMAY-1/2, Parte I



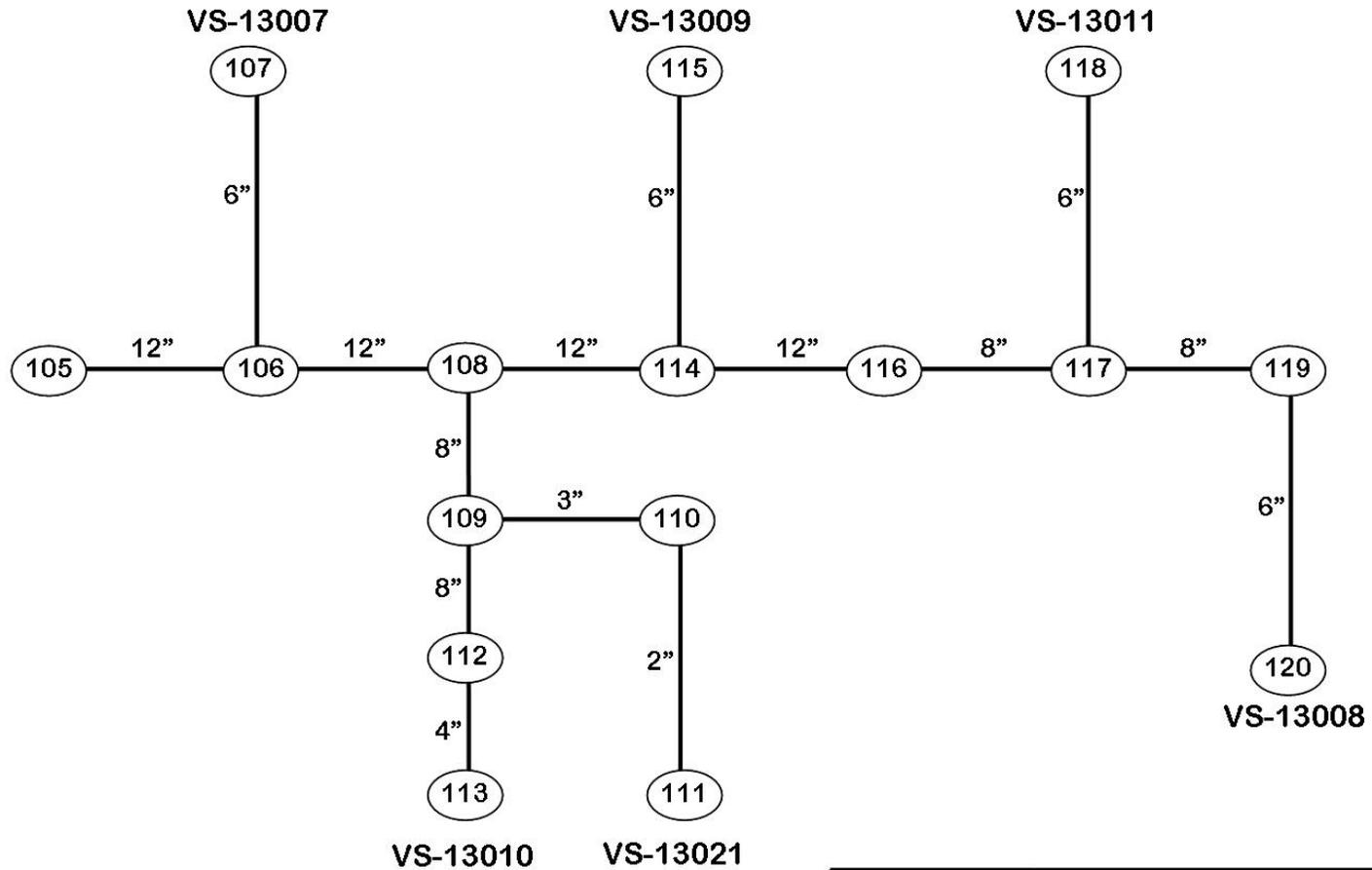
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad FMAY-1/2, Parte II



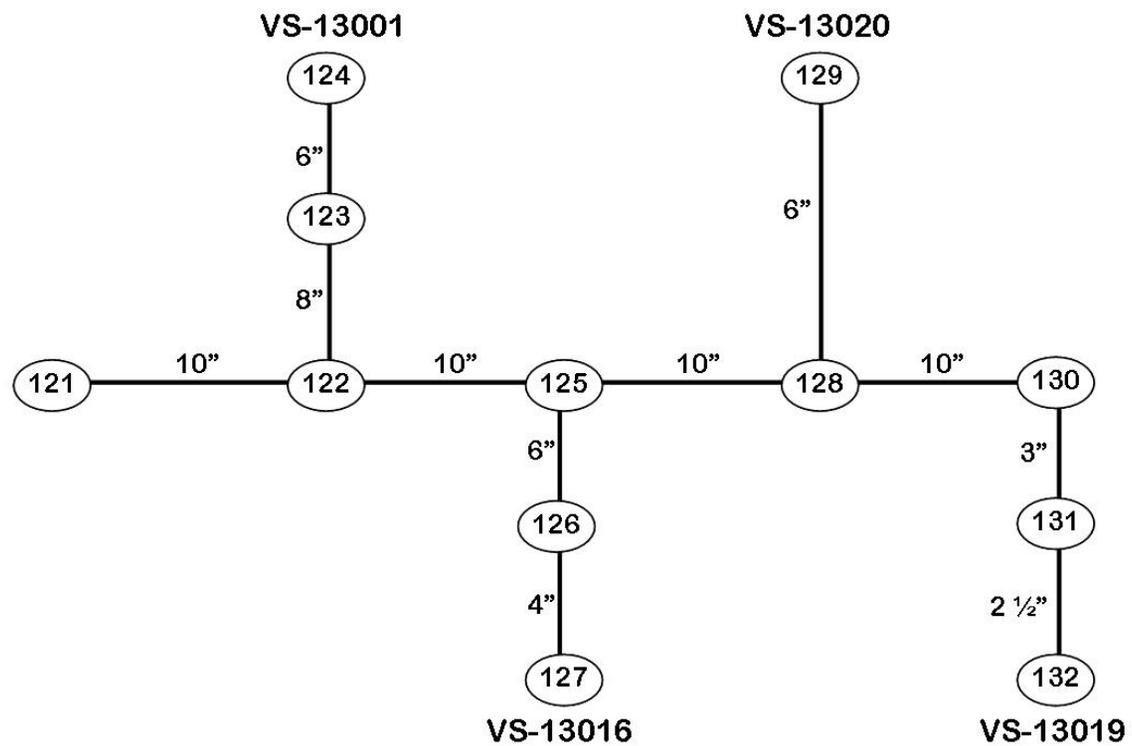
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad FMAY-1/2, Parte III



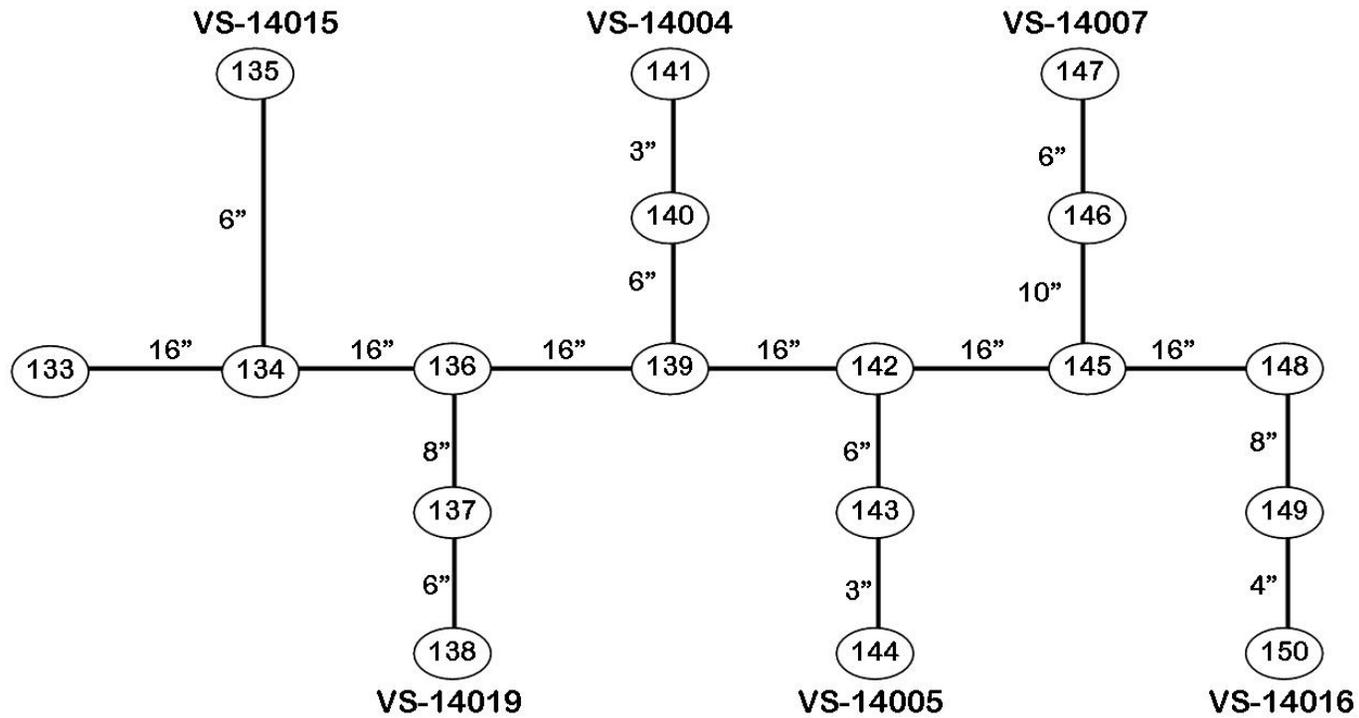
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad SWAY-1/2



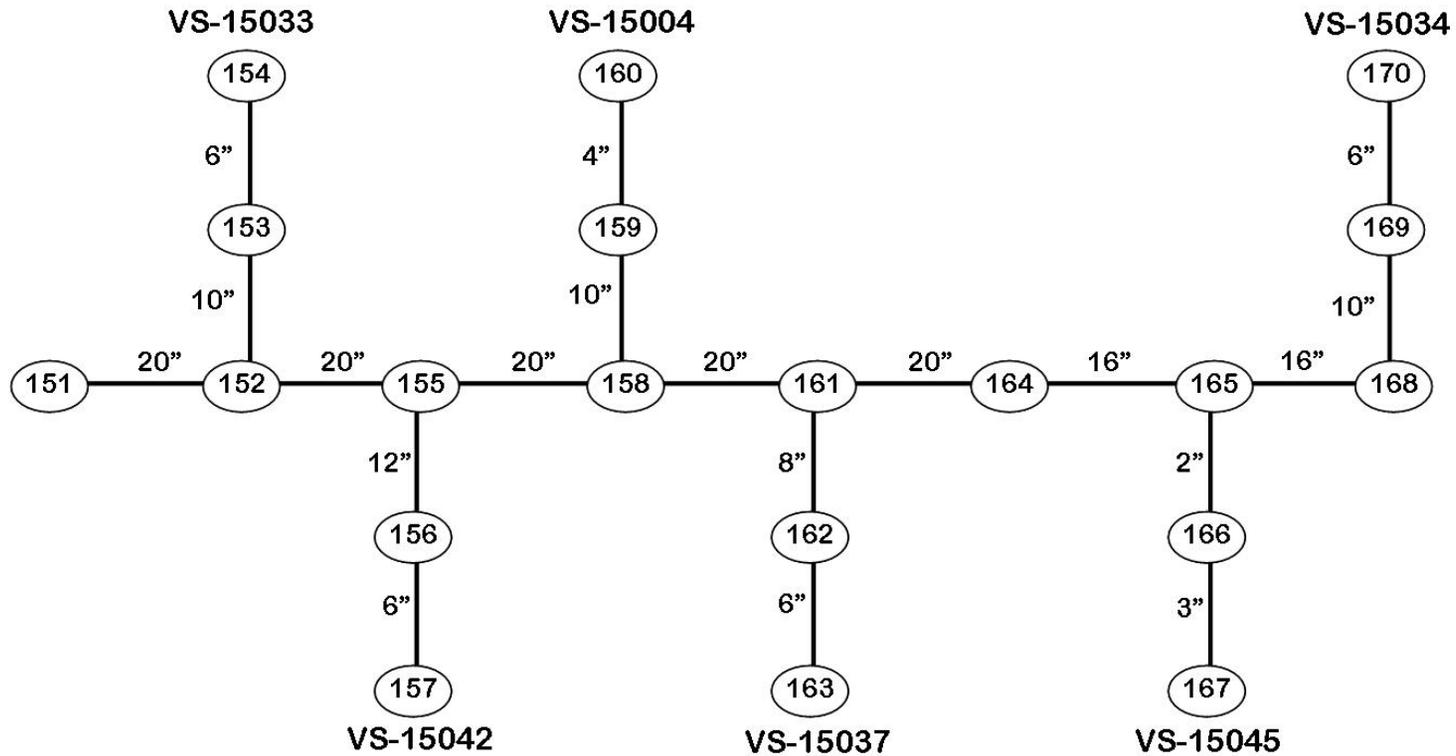
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Mercox de HDS



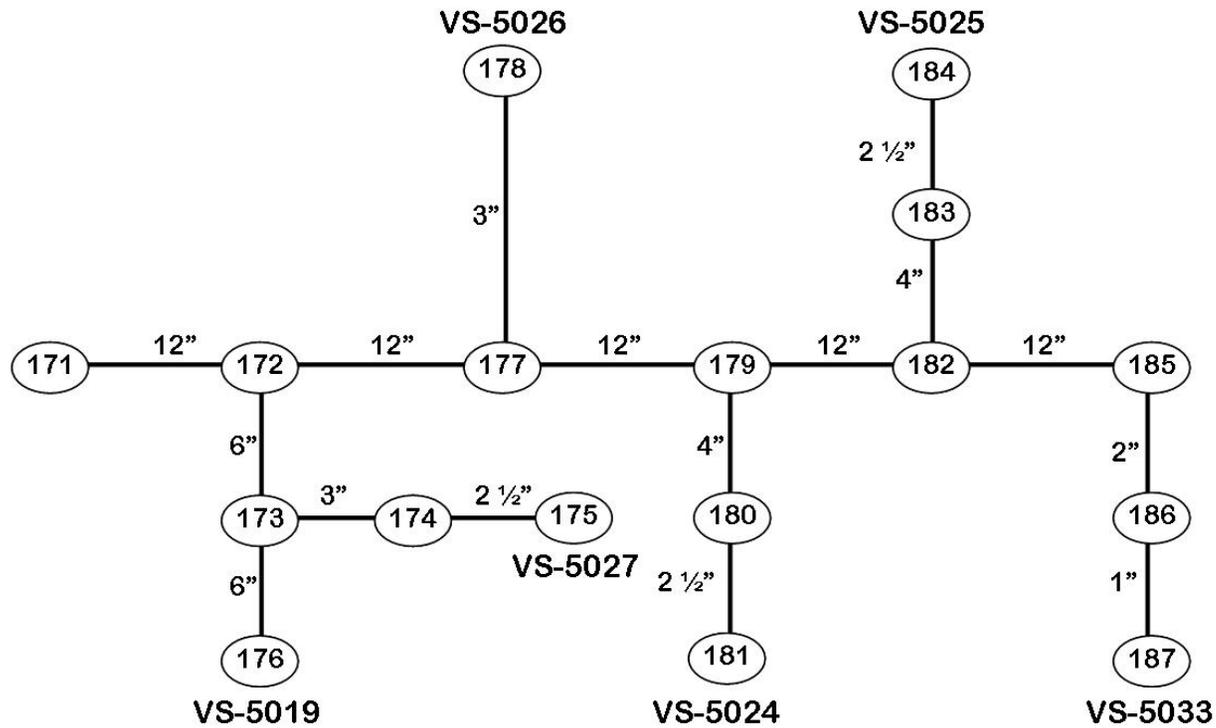
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad NFAY-3



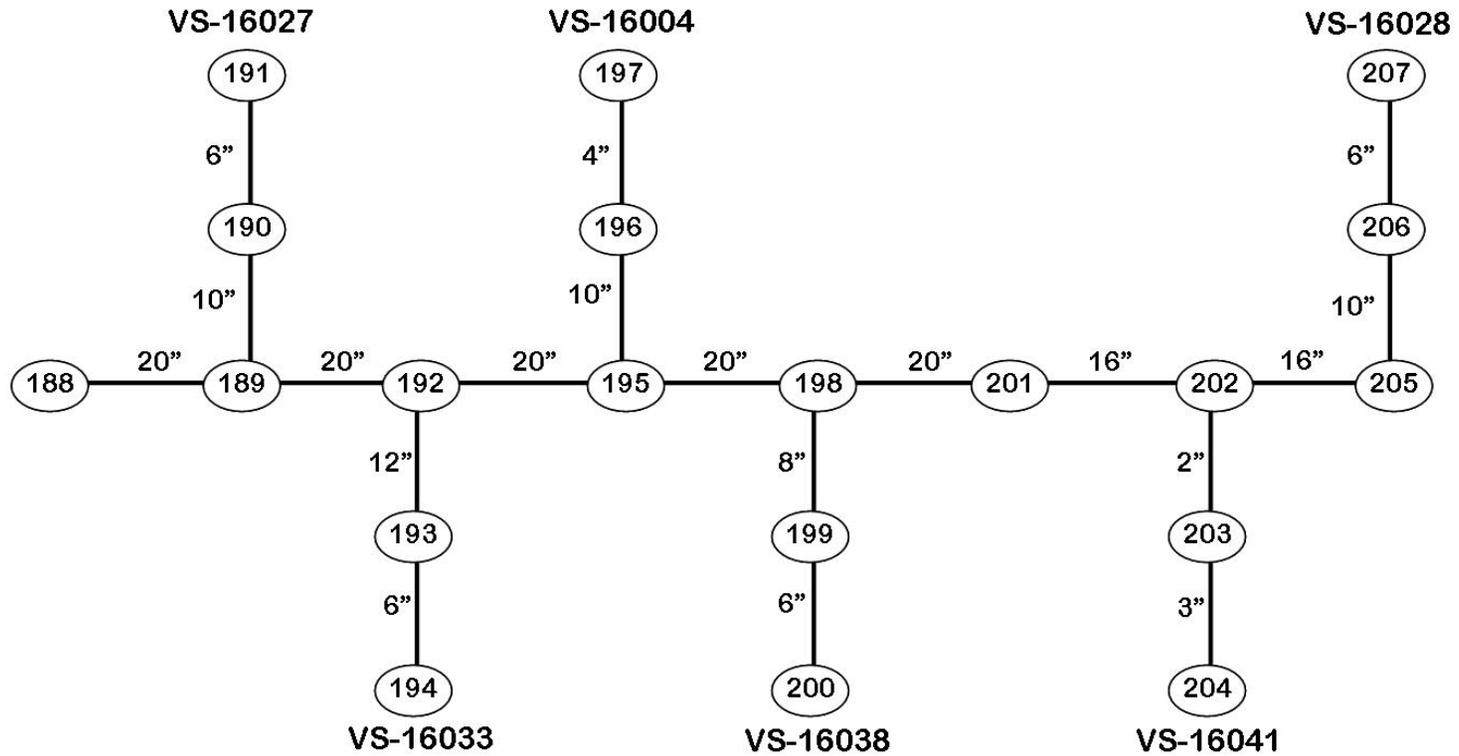
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad HDAY-2



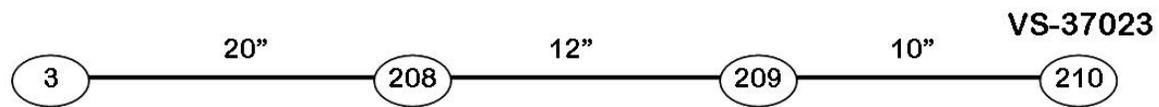
Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad HDAY-3



Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad NFAY-4



Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad HDAY-4



Realizado por: Pedro Ceballos	GERENCIA DE INGENIERÍA DE PROCESOS
Fecha: 18/02/2008	Título: Diagrama de Nodos Unidad ALAY

APÉNDICE 5. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA "K"

En ésta sección se muestran las ecuaciones y factores empleados para el cálculo de los coeficientes de resistencia “K” necesarios para la estimación de la longitud equivalente en los tramos de tubería del sistema de alivio así como la cantidad de cada tipo de accesorio presente en los mismos junto con las sumatoria total de los valores de la constante “K” en cada caso.

Como ya se mencionó anteriormente, el coeficiente de resistencia “K” ha sido calculado empleado las ecuaciones del Apéndice A-24 del Libro *Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías* por Crane, en éste Apéndice se muestra una recopilación bastante completa de accesorios que pudieran estar presentes en una determinada línea de tubería.

En la Tabla 7.3 se muestran los valores de factor de fricción que deben ser empleados en el cálculo del factor “K” dependiendo del diámetro nominal de la tubería.

Tabla 7.3: Factores de fricción para tuberías comerciales, nuevas, de acero, con flujo en la zona total de turbulencia (Crane)

Diámetro Nominal (pulg)	½	¾	1	1¼	1½	2	2½,3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
Factor de Fricción (f_f)	0,027	0,025	0,023	0,022	0,021	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012

A continuación se muestran las ecuaciones empleadas en el cálculo de los coeficientes de resistencia “K”, de acuerdo a cada accesorio.

Tabla 7.4: Ecuaciones empleadas para el cálculo de coeficientes de resistencia "K"

Accesorio	Coefficiente de resistencia "K"
Válvula de compuerta	$K = 8 \cdot f_T$
Codo de 90°	$K = 30 \cdot f_T$
Codo de 45°	$K = 16 \cdot f_T$
"T" flujo desviado a 90°	$K = 60 \cdot f_T$
"T" flujo directo	$K = 20 \cdot f_T$
Expansión	$K = 2,6 \cdot \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) \cdot (1 - \beta^2)^2$
Contracción	$K = 0,8 \cdot \left(\text{sen} \frac{\theta}{2} \right) \cdot (1 - \beta^2)$

β es un factor definido como:

$$\beta = \frac{d_1}{d_2} \quad (24)$$

Donde:

β : Relación de diámetros [Adim.]

d_1 : Diámetro menor [pulg]

d_2 : Diámetro mayor [pulg]

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0,00
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0,00
4	3	0	5	0	0	0	0	0	0	-	-	1,80
5	4	2	11	2	0	0	0	0	1	4	30	8,15
6	5	1	2	0	0	0	0	0	1	2	4	3,31
7	5	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,34
8	7	1	2	0	0	0	0	0	1	3	4	3,24
9	7	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,34
10	9	1	2	0	0	0	0	0	1	3	4	3,24
12	4	1	3	4	0	2	0	0	0	-	-	2,42
13	12	1	2	1	0	0	0	0	1	16	30	2,81
14	13	1	2	1	0	0	0	0	1	4	16	3,21
15	14	1	2	0	0	1	1	0	0	3	4	1,77
16	13	0	1	0	0	1	0	0	0	-	-	0,65
17	16	0	1	0	0	1	0	0	1	6	16	2,53
18	17	1	0	0	0	1	1	0	0	4	6	0,78
19	16	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
20	19	0	1	0	0	1	0	0	1	6	16	2,53
21	20	1	0	0	0	1	1	0	0	4	6	0,78
22	19	0	0	0	0	3	0	0	0	-	-	0,78
23	22	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-	0,78
24	23	1	2	0	1	1	0	0	1	4	16	4,30
25	24	0	0	0	0	0	1	0	0	3	4	0,19
26	23	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
27	26	0	1	0	0	0	0	0	1	10	16	2,26
28	27	1	0	0	0	1	1	0	0	8	10	0,52
29	26	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
30	29	1	1	0	0	1	0	0	1	3	16	2,82
31	30	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3	0,31
32	29	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
33	32	1	2	0	0	0	0	0	1	2	16	3,07
34	32	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
35	34	1	1	0	0	1	0	0	1	2	16	2,88
36	34	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
37	36	0	1	0	0	1	0	0	1	10	16	2,54
38	37	1	0	0	0	1	1	0	0	8	10	0,52
39	36	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
40	39	0	3	0	0	1	1	0	0	10	16	1,91
41	40	1	0	0	0	1	1	0	0	8	10	0,52
42	22	0	4	0	0	1	0	0	0	-	-	1,82
43	42	1	1	0	0	0	0	0	1	4	16	2,43
44	42	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
45	44	1	1	0	0	5	0	0	1	4	16	4,13
46	45	0	0	0	0	0	1	0	0	3	4	0,19
47	44	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
48	47	1	1	0	0	1	0	0	1	3	16	2,82
49	48	0	0	0	0	0	1	0	0	2,5	3	0,09
50	47	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
51	50	0	2	0	1	0	0	0	1	8	16	3,46
52	51	1	0	0	0	1	1	0	0	6	8	0,61
53	50	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
54	53	0	2	0	1	0	0	0	1	8	16	3,46
55	54	1	0	0	0	1	1	0	0	6	8	0,61
56	53	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
57	56	2	2	0	0	3	0	0	1	2	16	4,36
58	56	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
59	58	0	0	0	0	0	1	0	0	10	16	0,37
60	59	1	1	0	0	1	0	0	1	2	10	2,10
61	59	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
62	61	1	1	0	0	1	0	0	1	2	10	2,10
63	61	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
64	63	0	1	0	0	1	0	0	1	6	10	1,75
65	64	1	0	0	0	1	1	0	0	3	6	1,06
66	63	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
67	66	0	1	0	0	0	0	0	1	8	10	1,42
68	67	1	1	0	2	1	0	0	0	-	-	2,49
69	67	1	1	0	1	2	0	0	0	-	-	1,93
70	66	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
71	70	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,30
72	71	0	1	0	1	0	0	0	1	3	6	3,52
73	72	1	0	0	0	0	1	0	0	2	3	0,46
74	71	0	0	0	0	2	0	0	0	-	-	0,60

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
75	74	0	2	0	0	2	1	0	0	3	6	2,36
76	75	1	0	0	0	0	1	0	0	2	3	0,46
77	70	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
78	77	0	2	0	0	1	0	0	1	8	10	2,12
79	78	1	0	0	0	1	1	0	0	4	8	1,04
80	77	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
81	80	1	1	0	0	1	0	0	1	4	10	1,99
82	81	0	0	0	0	0	1	0	0	3	4	0,19
83	80	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
84	83	0	2	0	0	1	0	0	1	8	10	2,12
85	84	1	0	0	0	1	1	0	0	4	8	1,04
86	83	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
87	86	1	3	0	0	1	0	0	1	3	10	3,12
88	87	0	0	0	0	0	1	0	0	2,5	3	0,09
89	86	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
90	89	0	0	0	0	0	1	0	0	6	10	0,41
91	90	0	1	1	1	0	0	0	0	-	-	1,59
92	91	1	0	0	0	0	1	0	0	3	6	0,70
93	90	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,30
94	93	1	1	0	0	1	1	0	0	3	6	1,60
95	94	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3	0,31
96	12	0	0	1	0	1	0	0	0	-	-	0,43
97	96	1	4	0	0	0	0	0	1	10	30	3,63
98	97	1	3	0	1	0	0	0	1	8	10	3,21

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
99	98	0	0	0	0	0	1	0	0	6	8	0,19
100	97	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
101	100	1	1	0	0	0	1	0	0	8	10	0,66
102	101	0	0	0	0	0	1	0	0	6	8	0,19
103	96	0	0	1	0	1	0	0	0	-	-	0,43
104	103	2	5	0	1	2	0	0	1	2	30	6,77
105	103	1	3	6	0	1	0	0	0	-	-	2,57
106	105	1	2	0	0	0	0	0	1	12	30	2,60
107	106	1	2	2	0	0	0	0	1	6	12	3,28
108	106	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
109	108	0	2	0	0	1	0	0	1	8	12	2,90
110	109	1	0	0	0	0	0	0	1	3	8	1,98
111	110	0	0	0	0	1	1	0	0	2	3	0,69
112	111	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
113	112	1	0	0	0	0	1	0	0	4	8	0,70
114	111	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
115	114	1	1	1	0	0	0	0	1	6	12	2,59
116	114	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
117	116	0	1	1	0	0	1	0	0	8	12	0,95
118	117	1	1	0	0	1	0	0	1	6	8	2,71
119	117	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
120	119	1	2	0	0	0	1	0	0	6	8	1,21
121	105	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,24
122	121	1	1	1	0	2	0	0	1	10	30	3,16

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
123	122	1	4	0	0	0	0	0	1	8	10	2,79
124	123	0	0	0	0	0	1	0	0	6	8	0,19
125	122	0	0	0	0	2	0	0	0	-	-	0,56
126	125	0	5	0	0	1	0	0	1	6	10	3,55
127	126	0	0	0	0	0	1	0	0	4	6	0,31
128	125	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
129	128	1	0	0	0	1	0	0	1	6	10	1,42
130	128	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,28
131	130	1	0	0	1	1	0	0	1	3	10	2,58
132	131	0	0	0	0	0	1	0	0	2,5	3	0,09
133	121	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,24
134	133	1	0	1	0	0	0	0	1	16	30	2,03
135	134	1	1	1	0	0	0	0	1	6	16	2,59
136	134	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
137	136	0	2	0	0	0	0	0	1	8	16	2,62
138	137	1	0	0	0	0	1	0	0	6	8	0,31
139	136	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
140	139	2	3	0	0	0	0	0	1	6	16	3,37
141	140	0	0	0	0	0	1	0	0	3	6	0,56
142	139	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
143	142	2	5	0	0	0	0	0	1	6	16	4,27
144	143	0	0	0	0	0	1	0	0	3	6	0,56
145	142	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
146	145	1	2	0	0	0	0	0	1	10	16	2,79
147	146	0	0	0	0	0	1	0	0	6	10	0,41
148	145	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
149	148	1	5	0	0	0	0	0	1	12	16	3,83
150	149	0	0	0	0	0	1	0	0	4	12	0,79
151	133	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,24
152	151	1	0	1	0	0	0	0	1	20	30	2,01
153	152	1	1	1	0	2	0	0	1	10	20	3,16
154	153	0	0	0	0	0	1	0	0	6	10	0,41
155	152	0	4	0	0	5	0	0	0	-	-	2,64
156	155	1	2	2	1	0	0	0	1	12	20	3,80
157	156	0	0	0	0	0	1	0	0	6	12	0,56
158	155	0	0	0	0	2	0	0	0	-	-	0,48
159	158	1	3	2	0	1	0	0	1	10	20	3,94
160	159	0	0	0	0	0	1	0	0	4	10	0,70
161	158	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,24
162	161	1	1	2	0	1	0	0	1	8	20	2,98
163	162	0	0	0	0	0	1	0	0	6	8	0,19
164	161	0	0	0	0	2	0	0	0	-	-	0,48
165	164	0	2	0	1	0	1	0	0	16	20	1,69
166	165	0	9	0	1	0	0	0	1	2	16	8,05
167	166	1	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0,62
168	165	1	5	0	0	2	0	0	0	-	-	2,57
169	168	0	0	0	0	0	1	0	0	10	16	0,37

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
170	169	0	0	0	0	0	1	0	0	6	10	0,41
171	151	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,24
172	171	1	7	3	0	2	0	0	1	12	30	5,70
173	172	0	1	0	0	0	0	0	1	6	12	2,23
174	173	1	0	0	0	1	0	0	1	3	6	2,40
175	174	0	0	0	0	0	1	0	0	2,5	3	0,09
176	173	1	1	0	0	2	0	0	0	-	-	1,17
177	172	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
178	177	1	4	0	0	1	0	0	1	3	12	4,44
179	177	0	2	0	0	4	0	0	0	-	-	1,82
180	179	1	1	0	0	0	0	0	1	4	12	2,43
181	180	0	0	0	0	0	1	0	0	2,5	4	0,37
182	179	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
183	182	1	1	0	0	0	0	0	1	4	12	2,43
184	183	0	0	0	0	0	1	0	0	2,5	4	0,37
185	182	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,26
186	185	0	5	2	0	0	0	0	1	2	12	5,24
187	186	1	7	0	0	0	1	0	0	1	2	5,57
188	171	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,24
189	188	1	0	1	0	0	0	0	1	20	30	2,01
190	189	1	1	1	0	2	0	0	1	10	20	3,16
191	190	0	0	0	0	0	1	0	0	6	10	0,41
192	189	0	4	0	0	5	0	0	0	-	-	2,64
193	192	1	2	2	1	0	0	0	1	12	20	3,80

Tabla 7.5: Accesorios presentes en cada tramo del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Válvula Compuerta	Codos		Conexiones "T"		Expansión	Contracción	Expansión +"T" 90°	Diámetro		ΣK
Salida	Llegada		90°	45°	Flujo 90°	Flujo directo				Menor	Mayor	
194	193	0	0	0	0	0	1	0	0	6	12	0,56
195	192	0	0	0	0	2	0	0	0	-	-	0,48
196	195	1	3	2	0	1	0	0	1	10	20	3,94
197	196	0	0	0	0	0	1	0	0	4	10	0,70
198	195	0	0	0	0	1	0	0	0	-	-	0,24
199	198	1	1	2	0	1	0	0	1	8	20	2,98
200	199	0	0	0	0	0	1	0	0	6	8	0,19
201	198	0	0	0	0	2	0	0	0	-	-	0,48
202	201	0	2	0	1	0	1	0	0	16	20	1,69
203	202	0	9	0	1	0	0	0	1	2	16	8,05
204	203	1	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0,62
205	202	1	5	0	0	2	0	0	0	-	-	2,57
206	205	0	0	0	0	0	1	0	0	10	16	0,37
207	206	0	0	0	0	0	1	0	0	6	10	0,41
208	3	1	9	0	0	0	0	0	0	-	-	3,34
209	208	0	1	0	0	1	1	0	0	12	20	1,06
210	209	0	0	0	0	0	1	0	0	10	12	0,09

**APÉNDICE 6. IDENTIFICACIÓN, DIMENSIONES Y LONGITUD
EQUIVALENTE DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA DEL SISTEMA DE ALIVIO DE
GAS ÁCIDO**

Tabla 7.6: Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido

Nodos		Descripción Nodos		Diámetro Nominal	Longitud Real Lreal, [m]	Longitud Equivalente, Leq [m]
Salida	Llegada	Salida	Llegada			
2	1	Salida tambor D-2203	Tope Mechurrio 3	36	91,8	0
3	2	Entrada tambor D-2203	Salida tambor D-2203	30	0,0	110
4	3	Descarga SUAY-3 en Cabezal 30"	D-2203	30	121,5	120
5	4	Descarga VS-43041	Cabezal 30"	4	218,5	50
6	5	VS 43041	Cabezal 4"	2	4,4	9
7	5	Descarga VS-43042	Descarga VS-43041	4	2,2	2
8	7	VS 43042	Cabezal 4"	3	5,0	14
9	7	Descarga VS-43029	Descarga VS-43042	4	1,6	2
10	9	VS-43029	Cabezal 4"	3	3,6	14
12	4	Descarga FMAY-1/2	Descarga SUAY-3	30	47,2	162
13	12	Descarga VS-20013	Cabezal 30"	16	14,7	86
14	13	Después expansión 3>4	Cabezal 16"	4	14,0	20
15	14	VS-20013	Expansión 3>4	3	0,5	8
16	13	Descarga SV-19047	Descarga SV-20013	16	12,2	20
17	16	Después de expansión 4>6	Cabezal 16"	6	1,8	26
18	17	SV-19047	Expansión 4>6	4	0,4	5
19	16	Descarga SV-19046	Descarga SV-19047	16	0,6	8
20	19	Después expansión 4>6	Cabezal 16"	6	1,8	26
21	20	SV-19046	Expansión 4>6	4	0,4	5
22	19	Unión de los dos grandes bloques de VS de FMAY-1/2	Descarga SV-19046	16	16,6	24
23	22	Descarga SV-19030	Unión de los dos grandes bloques de VS de FMAY-1/2	16	12,3	24
24	23	Después expansión 3>4	Cabezal 16"	4	4,1	26
25	24	SV-19030	Expansión 3>4	3	0,0	1
26	23	Descarga SV-19041	Descarga SV-19030	16	0,8	8
27	26	Después expansión 8>10	Cabezal 16"	10	0,8	42
28	27	SV-19041	Expansión 8>10	8	4,9	7
29	26	Descarga SV-19044	Descarga SV-19041	16	0,4	8
30	29	Después expansión 2>3	Cabezal 16"	3	1,5	12
31	30	SV-19044	Expansión 2>3	2	0,0	1
32	29	Descarga SV-19020	Descarga SV-19044	16	2,1	8
33	32	SV-19020	Cabezal 16"	2	1,1	8

Tabla 7.6: Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Descripción Nodos		Diámetro Nominal	Longitud Real Lreal, [m]	Longitud Equivalente, Leq [m]
Salida	Llegada	Salida	Llegada			
34	32	Descarga SV-19019	Descarga SV-19020	16	0,3	8
35	34	SV-19019	Cabezal 16"	2	1,1	8
36	34	Descarga SV-19035	Descarga SV-19019	16	0,4	8
37	36	Después expansión 8>10	Cabezal 16"	10	2,6	47
38	37	SV-19035	Expansión 8>10	8	0,4	7
39	36	Después expansión 10>16	Descarga SV-19035	16	1,2	8
40	39	Después expansión 8>10	Expansión 10>16	10	3,8	35
41	40	SV-19036	Expansión 8>10	8	0,4	7
42	22	Descarga SV-19037	Unión de los dos grandes bloques de VS de FMAY-1/2	16	24,6	56
43	42	SV-19037	Cabezal 16"	4	3,7	15
44	42	Descarga SV-19026	Descarga SV-19037	16	1,8	8
45	44	Después expansión 3>4	Cabezal 16"	4	3,3	25
46	45	SV-19026	Expansión 3>4	3	0,0	1
47	44	Descarga SV-19029	Descarga SV-19026	16	2,4	8
48	47	Después expansión 2,5>3	Cabezal 16"	3	1,6	12
49	48	SV-19029	Expansión 2,5>3	2,5	0,0	0
50	47	Descarga SV-19034	Descarga SV-19029	16	0,3	8
51	50	Después expansión 6>8	Cabezal 16"	8	2,5	49
52	51	SV-19034	Expansión 6>8	6	0,4	6
53	50	Descarga SV-19033	Descarga SV-19034	16	0,5	8
54	53	Después expansión 6>8	Cabezal 16"	8	2,5	49
55	54	SV-19033	Expansión 6>8	6	0,4	6
56	53	Descarga SV-19038	Descarga SV-19033	16	0,9	8
57	56	SV-19038	Cabezal 16"	2	2,2	12
58	56	Después expansión 10>16	Descarga SV-19038	16	0,0	8
59	58	Descarga SV-19024	Expansión 10>16	10	0,9	7
60	59	SV-19024	Cabezal 10"	2	1,3	6
61	59	Descarga SV-19023	Descarga SV-19024	10	0,2	5
62	61	SV-19023	Cabezal 10"	2	1,3	6
63	61	Descarga SV-19045	Descarga SV-19023	10	1,5	5
69	67	SV-19040	Unión de SV-19039 y SV-19040	8	2,4	27

Tabla 7.6: Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Descripción Nodos		Diámetro Nominal	Longitud Real Lreal, [m]	Longitud Equivalente, Leq [m]
Salida	Llegada	Salida	Llegada			
70	66	Descarga SV-19019/19020	Descarga SV-19039/19040	10	9,4	5
71	70	Descarga SV-20020	Cabezal 10"	6	16,3	3
72	71	Después expansión 2>3	Tubería 6"	3	2,3	15
73	72	SV-20020	Expansión 2>3	2	0,5	1
74	71	Después expansión 3>6	Descarga SV-19020	6	0,7	6
75	74	Después expansión 2>3	Expansión 3>6	3	4,5	10
76	75	SV-20019	Expansión 2>3	2	0,1	1
77	70	Descarga SV-20008	Descarga SV-19009/SV-19020	10	10,5	5
78	77	Después expansión 4>8	Cabezal 10"	8	3,2	30
79	78	SV-20008	Expansión 4>8	4	0,3	6
80	77	Descarga SV-20017	Descarga SV-20008	10	1,1	5
81	80	Después expansión 3>4	Cabezal 10"	4	2,7	12
82	81	SV-20017	Expansión 3>4	3	0,0	1
83	80	Descarga SV-28006	Descarga SV-20017	10	1,2	5
84	83	Después expansión 4>8	Cabezal 10"	8	2,7	30
85	84	SV-28006	Expansión 4>8	4	0,3	6
86	83	Descarga SV-20018	Descarga SV-28006	10	22,4	5
87	86	Después expansión 2,5>3	Cabezal 10"	3	2,8	14
88	87	SV-20018	Expansión 2,5>3	2,5	0,0	0
89	86	Después expansión 6>10	Descarga SV-20018	10	0,5	5
90	89	Descarga SV-20016	Expansión 6>10	6	0,1	4
91	90	Después expansión 3>6	Tubería 6"	6	3,0	16
92	91	SV-20016	Expansión 3>6	3	0,0	3
93	90	Después expansión 3>6	Descarga SV-20016	6	0,1	3
94	93	Después expansión 2>3	Expansión 3>6	3	2,0	7
95	94	SV-15039	Expansión 2>3	2	0,0	1
96	12	Descarga SV-19006/SV-19027	Descarga FMAY-1/2+SWAY-1/2	30	29,9	29
97	96	Unión SV-19006 con SV-19027	Cabezal 30"	10	18,7	67
98	97	Después expansión 6>8	Unión SV-19006 con SV-19027	8	3,6	45
99	98	SV-19027	Expansión 6>8	6	0,0	2
100	97	Después expansión 8>10	Descarga SV-19027	10	0,3	5

Tabla 7.6: Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Descripción Nodos		Diámetro Nominal	Longitud Real Lreal, [m]	Longitud Equivalente, Leq [m]
Salida	Llegada	Salida	Llegada			
101	100	Después expansión 6>8	Expansión 8>10	8	0,7	9
102	101	SV-19006	Expansión 6>8	6	0,0	2
103	96	Descarga SV-19025	Descarga SV-19006/SV-19027	30	8,6	29
104	103	SV-19025	Cabezal 30"	2	8,5	18
105	103	Descarga Merox	Descarga SV-19025	30	95,5	171
106	105	Descarga SV-13007	Cabezal 30"	12	42,4	60
107	106	SV-13007	Cabezal 12"	6	10,0	33
108	106	Descarga SV-13010/SV-13021	Descarga SV-13007	12	0,5	6
109	108	Descarga SV-13021	Cabezal 12"	8	10,4	41
110	109	Después expansión 2>3	Tubería 8"	3	0,0	9
111	110	SV-13021	Expansión 2>3	2	0,9	2
112	111	Después expansión 4>8	Descarga SV-13021	8	0,3	4
113	112	SV-13010	Expansión 4>8	4	0,0	4
114	111	Descarga SV-13009	Descarga SV-13010	12	0,7	6
115	114	SV-13009	Cabezal 12"	6	11,1	26
116	114	Después expansión 8>12	Descarga SV-13009	12	9,6	6
117	116	Descarga SV-13011	Expansión 8>12	8	4,5	13
118	117	SV-13011	Tubería 8"	6	2,1	27
119	117	Después expansión 6>8	Descarga SV-13011	8	5,7	4
120	119	SV-13008	Expansión 6>8	6	2,1	12
121	108	Descarga NFAY-3	Descarga MEROX	30	13,2	16
122	121	Descarga SV-13001	Cabezal 30"	10	18,2	59
123	122	Después expansión 6>8	Cabezal 10"	8	29,0	39
124	123	SV-13001	Expansión 6>8	6	0,1	2
125	122	Descarga SV-13016	Descarga SV-13001	10	3,5	10
126	125	Después expansión 4>6	Cabezal 10"	6	21,1	36
127	126	SV-13016	Expansión 4>6	4	0,0	2
128	125	Descarga SV-13020	Descarga SV-13016	10	1,1	5
129	128	SV-13020	Cabezal 10"	6	1,0	14
130	128	Descarga SV-13019	Descarga SV-13020	10	3,9	5
131	130	Después expansión 2,5>3	Cabezal 10"	3	1,3	11
132	131	SV-13019	Expansión 2,5>3	2,5	0,0	0

Tabla 7.6: Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Descripción Nodos		Diámetro Nominal	Longitud Real Lreal, [m]	Longitud Equivalente, Leq [m]
Salida	Llegada	Salida	Llegada			
133	121	Descarga HDAY-2	Descarga NFAY-3	30	4,8	16
134	133	Descarga SV-14015	Cabezal 30"	16	61,0	62
135	134	SV-14015	Cabezal 16"	6	1,1	26
136	134	Descarga SV-14019	Descarga SV-14015	16	3,6	8
137	136	Después expansión 6>8	Cabezal 16"	8	4,7	37
138	137	SV-14019	Expansión 6>8	6	0,0	3
139	136	Descarga SV-14004	Descarga SV-14019	16	1,1	8
140	139	Después expansión 3>6	Cabezal 16"	6	8,2	34
141	140	SV-14004	Expansión 3>6	3	0,0	2
142	139	Descarga SV-14005	Descarga SV-14004	16	0,8	8
143	142	Después expansión 3>6	Cabezal 16"	6	5,8	43
144	143	SV-14005	Expansión 3>6	3	0,0	2
145	142	Descarga SV-14007	Descarga SV-14005	16	0,3	8
146	145	Después expansión 6>10	Cabezal 16"	10	8,3	52
147	146	SV-14007	Expansión 6>10	6	0,0	4
148	145	Descarga SV-14016	Descarga SV-14007	16	1,8	8
149	148	Después expansión 4>8	Cabezal 16"	12	7,8	88
150	149	SV-14016	Expansión 4>8	4	0,0	5
151	133	Descarga HDAY-3	Descarga HDAY-2	30	50,0	16
152	151	Descarga SV-15033	Cabezal 30"	20	14,0	81
153	152	Después expansión 6>10	Cabezal 20"	10	2,6	59
154	153	SV-15033	Expansión 6>10	6	0,0	4
155	152	Descarga SV-15042	Descarga SV-15033	20	52,4	107
156	155	Después expansión 6>12	Cabezal 20"	12	6,0	88
157	156	SV-15042	Expansión 6>12	6	0,0	6
158	155	Descarga SV-15004	Descarga SV-15042	20	11,0	19
159	158	Después expansión 4>10	Cabezal 20"	10	10,6	73
160	159	SV-15004	Expansión 4>10	4	0,0	4
161	158	Descarga SV-15037	Descarga SV-15004	20	2,9	10
162	161	Después expansión 6>8	Cabezal 20"	8	12,0	42
163	162	SV-15037	Expansión 6>8	6	0,0	2
164	161	Después expansión 16>20	Descarga SV-15037	20	0,6	19
165	164	Descarga SV-15045	Expansión 16>20	16	7,2	52
166	165	Después de contracción 3>2	Tubería 16"	2	28,0	22

Tabla 7.6: Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Descripción Nodos		Diámetro Nominal	Longitud Real Lreal, [m]	Longitud Equivalente, Leq [m]
Salida	Llegada	Salida	Llegada			
167	166	SV-15045	Contracción 3>2	3	3,5	3
168	165	Después expansión 10>16	Descarga SV-15045	16	17,4	79
169	168	Después expansión 6>10	Expansión 10>16	10	0,0	7
170	169	SV-15034	Expansión 6>10	6	0,0	4
171	152	Descarga PSAY-5	Descarga HDAY-3	30	53,0	16
172	171	Descarga SV-5019/SV-5027	Cabezal 30"	12	314,4	131
173	172	Descarga SV-5027	Cabezal 12"	6	1,0	23
174	173	Después expansión 2,5>3	Tubería 6"	3	0,7	11
175	174	SV-5027	Expansión 2,5>3	2,5	0,0	0
176	173	SV-5019	Descarga SV-5027	6	2,9	12
177	172	Descarga SV-5026	Descarga SV-5019/SV-5027	12	1,4	6
178	177	SV-5026	Cabezal 12"	3	20,5	20
179	177	Descarga SV-5024	Descarga SV-5026	12	37,7	42
180	179	Después expansión 2,5>4	Cabezal 12"	4	0,9	15
181	180	SV-5024	Expansión 2,5>4	2,5	0,0	1
182	179	Descarga SV-5025	Descarga SV-5024	12	1,2	6
183	182	Después expansión 2,5>4	Cabezal 12"	4	0,9	15
184	183	SV-5025	Expansión 2,5>4	2,5	0,0	1
185	182	Descarga SV-5033	Descarga SV-5025	12	5,9	6
186	185	Después expansión 1>2	Cabezal 12"	2	51,5	14
187	186	SV-5033	Expansión 1>2	1	11,7	6
188	171	Descarga HDAY-4	Descarga NFAY-4	30	1,2	16
189	188	Descarga SV-16027	Cabezal 30"	20	14,0	81
190	189	Después expansión 6>10	Cabezal 20"	10	2,6	59
191	190	SV-16027	Expansión 6>10	6	0,0	4
192	189	Descarga SV-16033	Descarga SV-16027	20	52,4	107
193	192	Después expansión 6>12	Cabezal 20"	12	6,0	88
194	193	SV-16033	Expansión 6>12	6	0,0	6
195	192	Descarga SV-16004	Descarga SV-16033	20	11,0	19
196	195	Después expansión 4>10	Cabezal 20"	10	10,6	73
197	196	SV-16004	Expansión 4>10	4	0,0	4
198	195	Descarga SV-16038	Descarga SV-16004	20	2,9	10
199	198	Después expansión 6>8	Cabezal 20"	8	12,0	42
200	199	SV-16038	Expansión 6>8	6	0,0	2

Tabla 7.6: Identificación, dimensiones y longitud equivalente de los tramos de tubería del sistema de alivio de gas ácido (Cont.)

Nodos		Descripción Nodos		Diámetro Nominal	Longitud Real Lreal, [m]	Longitud Equivalente, Leq [m]
Salida	Llegada	Salida	Llegada			
201	198	Después expansión 16>20	Descarga SV-1638	20	0,6	19
202	201	Descarga SV-16045	Expansión 16>20	16	7,2	52
203	202	Después de contracción 3>2	Tubería 16"	2	28,0	22
204	203	SV-16041*	Contracción 3>2	3	3,5	3
205	202	Después expansión 10>16	Descarga SV-16045	16	17,4	79
206	205	Después expansión 6>10	Expansión 10>16	10	0,0	7
207	206	SV-16028	Expansión 6>10	6	0,0	4
208	3	Después expansión 12>20	D-2203	20	127,9	135
209	208	Después expansión 10>12	Expansión 12>20	12	3,5	24
210	209	VS 37023	Expansión 10>12	10	0,0	2

**APÉNDICE 7. CONTRAPRESIÓN DESARROLLADA EN LAS VÁLVULAS DE
SEGURIDAD**

Tabla 7.7: Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 3 se encuentra en operación

Unidad	Válvula	Contrapresión, CP [psig]			Contrapresión mas alta, CP [psig]
		F. A. E. ^[1]	Incendio	F. O. ^[2]	
ALAY	SV-37023	-	-	34,7	34,7
FMAY-1/2	SV-19006	-	-	11,5	11,5
	SV-19019	-	2,2	-	2,2
	SV-19020	-	2,2	-	2,2
	SV-19023	-	3,2	-	3,2
	SV-19024	-	3,2	-	3,2
	SV-19025	-	15,4	-	15,4
	SV-19026	-	4,9	-	4,9
	SV-19027	-	-	13,8	13,8
	SV-19029	-	2,3	-	2,3
	SV-19030	-	10,3	-	10,3
	SV-19033	-	-	6,2	6,2
	SV-19034	-	-	6,2	6,2
	SV-19035	-	2,5	30,9	30,9
	SV-19036	-	-	30,5	30,5
	SV-19037	-	-	8,3	8,3
	SV-19038	-	2,5	-	2,5
	SV-19039	-	-	5,1	5,1
	SV-19040	-	-	4,6	4,6
	SV-19041	-	-	30,3	30,3
	SV-19044	-	5,2	-	5,2
SV-19045	-	3,3	-	3,3	
SV-19046	-	1,9	3,6	3,6	
SV-19047	-	1,7	4,14	1,7	
SV-20013	-	4,2	-	4,2	
HDAY-2	SV-14004	-	-	16,8	16,8
	SV-14005	-	-	17,0	17,0
	SV-14007	-	0,7	35,2	35,2
	SV-14015	0,7	0,7	-	0,7
	SV-14016	-	-	52,6	52,6
	SV-14019	-	-	1,9	1,9

Tabla 7.7: Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 3 se encuentra en operación (Cont.)

Unidad	Válvula	Contrapresión, CP [psig]			Contrapresión mas alta, CP [psig]
		F. A. E. ^[1]	Incendio	F. O. ^[2]	
HDAY-3	SV-15004	-	-	105,0	105,0
	SV-15033	-	1,5	5,9	5,9
	SV-15034	-	3,8	127,3	127,3
	SV-15037	-	-	3,9	3,9
	SV-15042	-	8,3	80,9	80,9
	SV-15045	-	-	72,2	72,2
HDAY-4	SV-16004	-	-	105,0	105,0
	SV-16027	-	1,5	5,9	5,9
	SV-16028	-	3,8	127,3	127,3
	SV-16033	-	8,3	80,9	80,9
	SV-16038	-	-	3,9	3,9
	SV-16041	-	-	72,2	72,2
NFAY-3 / MEROX	SV-13001	-	-	11,7	11,7
	SV-13007	-	15,1	-	15,1
	SV-13008	-	7,8	-	7,8
	SV-13009	-	14,4	-	14,4
	SV-13010	-	14,5	-	14,5
	SV-13011	-	7,8	-	7,8
	SV-13016	-	1,5	-	1,5
	SV-13019	-	2,3	-	2,3
	SV-13020	-	1,5	-	1,5
SV-13021	-	10,2	1,9	10,2	
PSAY-5 / NFAY-4	SV-5019	-	-	10,4	10,4
	SV-5024	-	24,4	-	24,4
	SV-5025	-	21,8	-	21,8
	SV-5026	-	49,2	-	49,2
	SV-5027	-	11,0	-	11,0
	SV-5033	-	-	0,6	0,6
SUAY-3	SV-43029	-	62,9	-	62,9
	SV-43041	-	58,3	-	58,3
	SV-43042	-	59,0	-	59,0

Tabla 7.7: Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 3 se encuentra en operación (Cont.)

Unidad	Válvula	Contrapresión, CP [psig]			Contrapresión mas alta, CP [psig]
		F. A. E. ^[1]	Incendio	F. O. ^[2]	
SWAY-1/2	SV-20008	-	1,7	-	1,7
	SV-20016	-		5,2	5,2
	SV-20017	-	1,9	-	1,9
	SV-20018	-	3,2	-	3,2
	SV-20019	-	1,5	-	1,5
	SV-28006	-	1,7	-	1,7
	SV-20020	-	2,2	-	2,2
	SV-15039	-	-	0,6	0,6

Notas:

1. F.A.E.: Falla de Agua de Enfriamiento
2. F.O.: Falla Operacional

Tabla 7.8: Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 2 se encuentra en operación

Unidad	Válvula	Contrapresión, CP [psig]			Contrapresión mas alta, CP [psig]
		F. A. E. ^[1]	Incendio	F. O. ^[2]	
FMAY-1/2	SV-19006	-	-	12,2	12,2
	SV-19019	-	2,9	-	2,9
	SV-19020	-	2,9	-	2,9
	SV-19023	-	3,9	-	3,9
	SV-19024	-	3,9	-	3,9
	SV-19025	-	15,7	-	15,7
	SV-19026	-	5,5	-	5,5
	SV-19027	-	-	14,4	14,4
	SV-19029	-	3,0	-	3,0
	SV-19030	-	10,7	-	10,7
	SV-19033	-	-	6,4	6,4
	SV-19034	-	-	6,4	6,4
	SV-19035	-	3,2	36,0	36,0
	SV-19036	-	-	35,5	35,5
	SV-19037	-	-	8,3	8,3
	SV-19038	-	3,2	-	3,2
	SV-19039	-	-	5,2	5,2
	SV-19040	-	-	4,8	4,8
	SV-19041	-	-	35,4	35,4
	SV-19044	-	5,8	-	5,8
SV-19045	-	4,1	-	4,1	
SV-19046	-	2,6	3,8	3,8	
SV-19047	-	2,5	4,14	2,5	
SV-20013	-	-	4,9	-	4,9
HDAY-2	SV-14004	-	-	16,8	16,8
	SV-14005	-	-	17,0	17,0
	SV-14007	-	0,7	35,5	35,5
	SV-14015	0,7	0,9	-	0,9
	SV-14016	-	-	52,6	52,6
	SV-14019	-	-	2,0	2,0

Tabla 7.8: Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 2 se encuentra en operación (Cont.)

Unidad	Válvula	Contrapresión, CP [psig]			Contrapresión mas alta, CP [psig]
		F. A. E. ^[1]	Incendio	F. O. ^[2]	
HDAY-3	SV-15004	-	-	105,0	105,0
	SV-15033	-	2,5	6,2	6,2
	SV-15034	-	4,6	127,3	127,3
	SV-15037	-	-	4,1	4,1
	SV-15042	-	8,7	80,9	80,9
	SV-15045	-	-	72,2	72,2
HDAY-4	SV-16004	-	-	105,0	105,0
	SV-16027	-	2,5	6,2	6,2
	SV-16028	-	4,6	127,3	127,3
	SV-16033	-	8,7	80,9	80,9
	SV-16038	-	-	4,1	4,1
	SV-16041	-	-	72,2	72,2
NFAY-3 / MEROX	SV-13001	-	-	11,9	11,9
	SV-13007	-	16,1	-	16,1
	SV-13008	-	9,1	-	9,1
	SV-13009	-	15,4	-	15,4
	SV-13010	-	15,2	-	15,2
	SV-13011	-	9,1	-	9,1
	SV-13016	-	3,5	-	3,5
	SV-13019	-	4,2	-	4,2
	SV-13020	-	3,5	-	3,5
	SV-13021	-	11,5	1,9	11,5
	SV-5019	-	-	10,6	10,6
PSAY-5 / NFAY-4	SV-5024	-	24,5	-	24,5
	SV-5025	-	22,0	-	22,0
	SV-5026	-	49,2	-	49,2
	SV-5027	-	11,3	-	11,3
	SV-5033	-	-	0,6	0,6
SUAY-3	SV-43029	-	62,9	-	62,9
	SV-43041	-	58,3	-	58,3
	SV-43042	-	59,0	-	59,0

Tabla 7.8: Contrapresión desarrollada en las válvulas de seguridad cuando Mechurrio 2 se encuentra en operación (Cont.)

Unidad	Válvula	Contrapresión, CP [psig]			Contrapresión mas alta, CP [psig]
		F. A. E. ^[1]	Incendio	F. O. ^[2]	
SWAY-1/2	SV-20008	-	1,7	-	1,7
	SV-20016	-		5,2	5,2
	SV-20017	-	1,9	-	1,9
	SV-20018	-	3,2	-	3,2
	SV-20019	-	1,5	-	1,5
	SV-28006	-	1,9	-	1,9
	SV-20020	-	2,2	-	2,2
	SV-15039	-	-	0,6	0,6

Notas:

3. F.A.E.: Falla de Agua de Enfriamiento
4. F.O.: Falla Operacional

Tabla 7.9: Comparación de las contrapresiones estimadas de acuerdo al mecurrio en operación

Unidad	Válvula	Contrapresión más alta, CP [psig]		Diferencia en la Contrapresión (Mecurrio 2- Mecurrio 3)
		Mecurrio 3 en operación	Mecurrio 2 en operación	
ALAY	SV-37023	34,7	-	-
FMAY-1/2	SV-19006	11,5	12,2	0,7
	SV-19019	2,2	2,9	0,7
	SV-19020	2,2	2,9	0,7
	SV-19023	3,2	3,9	0,7
	SV-19024	3,2	3,9	0,7
	SV-19025	15,4	15,7	0,3
	SV-19026	4,9	5,5	0,6
	SV-19027	13,8	14,4	0,6
	SV-19029	2,3	3,0	0,7
	SV-19030	10,3	10,7	0,4
	SV-19033	6,2	6,4	0,1
	SV-19034	6,2	6,4	0,1
	SV-19035	30,9	36,0	5,1
	SV-19036	30,5	35,5	5,1
	SV-19037	8,3	8,3	0,0
	SV-19038	2,5	3,2	0,7
	SV-19039	5,1	5,2	0,1
	SV-19040	4,6	4,8	0,1
	SV-19041	30,3	35,4	5,1
	SV-19044	5,2	5,8	0,6
SV-19045	3,3	4,1	0,7	
SV-19046	3,6	3,8	0,1	
SV-19047	1,7	2,5	0,7	
SV-20013	4,2	4,9	0,7	
HDAY-2	SV-14004	16,8	16,8	0,0
	SV-14005	17,0	17,0	0,0
	SV-14007	35,2	35,5	0,3
	SV-14015	0,7	0,9	0,1
	SV-14016	52,6	52,6	0,0
	SV-14019	1,9	2,0	0,1

**Tabla 7.9: Comparación de las contrapresiones estimadas de acuerdo al mechurrio en operación
(Cont.)**

Unidad	Válvula	Contrapresión más alta, CP [psig]		Diferencia en la Contrapresión (Mechurrio 2- Mechurrio 3)
		Mechurrio 3 en operación	Mechurrio 2 en operación	
HDAY-3	SV-15004	105,0	105,0	0,0
	SV-15033	5,9	6,2	0,3
	SV-15034	127,3	127,3	0,0
	SV-15037	3,9	4,1	0,1
	SV-15042	80,9	80,9	0,0
	SV-15045	72,2	72,2	0,0
HDAY-4	SV-16004	105,0	105,0	0,0
	SV-16027	5,9	6,2	0,3
	SV-16028	127,3	127,3	0,0
	SV-16033	80,9	80,9	0,0
	SV-16038	3,9	4,1	0,1
	SV-16041	72,2	72,2	0,0
NFAY-3 / MEROX	SV-13001	11,7	11,9	0,1
	SV-13007	15,1	16,1	1,0
	SV-13008	7,8	9,1	1,3
	SV-13009	14,4	15,4	1,0
	SV-13010	14,5	15,2	0,7
	SV-13011	7,8	9,1	1,3
	SV-13016	1,5	3,5	2,0
	SV-13019	2,3	4,2	1,9
	SV-13020	1,5	3,5	2,0
	SV-13021	10,2	11,5	1,3
PSAY-5 / NFAY-4	SV-5019	10,4	10,6	0,1
	SV-5024	24,4	24,5	0,1
	SV-5025	21,8	22,0	0,3
	SV-5026	49,2	49,2	0,0
	SV-5027	11,0	11,3	0,3
	SV-5033	0,6	0,6	0,0
SUAY-3	SV-43029	62,9	62,9	0,0
	SV-43041	58,3	58,3	0,0
	SV-43042	59,0	59,0	0,0

**Tabla 7.9: Comparación de las contrapresiones estimadas de acuerdo al mecurrio en operación
(Cont.)**

Unidad	Válvula	Contrapresión más alta, CP [psig]		Diferencia en la Contrapresión (Mecurrio 2- Mecurrio 3)
		Mecurrio 3 en operación	Mecurrio 2 en operación	
SWAY-1/2	SV-20008	1,7	1,7	0,0
	SV-20016	5,2	5,2	0,0
	SV-20017	1,9	1,9	0,0
	SV-20018	3,2	3,2	0,0
	SV-20019	1,5	1,5	0,0
	SV-28006	1,7	1,9	0,1
	SV-20020	2,2	2,2	0,0
	SV-15039	0,6	0,6	0,0

Tabla 7.10: Evaluación de la relación contrapresión/presión de disparo en las válvulas de seguridad

Unidad	Válvula	Tipo ^[1]	Presión de Disparo, PD [psig]	Contrapresión más alta, CP [psig]	CP / PD [%]
ALAY	SV-37023	B	220	35	15
FMAY-1/2	SV-19006	B	85	11	13
	SV-19019	C	251	2	1
	SV-19020	C	251	2	1
	SV-19023	C	251	3	1
	SV-19024	C	251	3	1
	SV-19025	C	105	15	15
	SV-19026	C	105	5	5
	SV-19027	B	89	14	15
	SV-19029	C	85	2	3
	SV-19030	C	85	10	12
	SV-19033	B	105	6	6
	SV-19034	B	105	6	6
	SV-19035	B	85	31	36
	SV-19036	B	85	30	36
	SV-19037	B	70	8	12
	SV-19038	B	85	2	3
	SV-19039	B	60	5	8
	SV-19040	B	60	5	8
	SV-19041	B	89	30	34
	SV-19044	C	251	5	2
	SV-19045	B	60	3	6
	SV-19046	B	60	4	6
	SV-19047	B	60	2	3
SV-20013	C	60	4	7	
HDAY-2	SV-14004	C	575	17	3
	SV-14005	C	575	17	3
	SV-14007	B	455	35	8
	SV-14015	C	430	1	0
	SV-14016	C	575	53	9
	SV-14019	C	70	2	3

Tabla 7.10: Evaluación de la relación contrapresión/presión de disparo en las válvulas de seguridad (Cont.)

Unidad	Válvula	Tipo ^[1]	Presión de Disparo, PD [psig]	Contrapresión más alta, CP [psig]	CP / PD [%]
HDAY-3	SV-15004	C	1000	105	11
	SV-15033	C	130	6	5
	SV-15034	C	835	127	15
	SV-15037	B	100	4	4
	SV-15042	P	745	81	11
	SV-15045	B	60	72	120
HDAY-4	SV-16004	C	1000	105	11
	SV-16027	C	130	6	5
	SV-16028	C	835	127	15
	SV-16033	P	745	81	11
	SV-16038	B	100	4	4
	SV-16041	B	60	72	120
NFAY-3 / MEROX	SV-13001	C	130	12	9
	SV-13007	B	130	15	12
	SV-13008	B	150	8	5
	SV-13009	B	130	14	11
	SV-13010	B	130	15	11
	SV-13011	B	150	8	5
	SV-13016	B	40	1	4
	SV-13019	B	33	2	7
	SV-13020	B	35	1	4
	SV-13021	C	130	10	8
PSAY-5 / NFAY-4	SV-5019	B	80	10	13
	SV-5024	B	428	24	6
	SV-5025	B	300	22	7
	SV-5026	B	170	49	29
	SV-5027	B	80	11	14
	SV-5033	C	250	1	0
SUAY-3	SV-43029	B	95	63	66
	SV-43041	B	50	58	117
	SV-43042	B	50	59	118

Tabla 7.10: Evaluación de la relación contrapresión/presión de disparo en las válvulas de seguridad (Cont.)

Unidad	Válvula	Tipo ^[1]	Presión de Disparo, PD [psig]	Contrapresión más alta, CP [psig]	CP / PD [%]
SWAY-1/2	SV-20008	C	50	2	3
	SV-20016	C	150	5	3
	SV-20017	C	110	2	2
	SV-20018	B	85	3	4
	SV-20019	C	150	1	1
	SV-28006	B	50	2	3
	SV-20020	C	50	2	4
	SV-15039	C	205	1	0

Notas:

1) Tipo:

C: Convencional

B: Balanceada

P: Piloto

**APÉNDICE 8. COMPARACIÓN DE LA PRESIÓN DE CALIBRACIÓN
CALCULADA CON RESPECTO A LA ACTUAL**

Tabla 7.11: Comparación de la presión de calibración calculada con respecto a la actual

Unidad	Válvula	Tipo	Presión de Disparo [Psig]	Temperatura de Alivio (°F)	Factor corrector de la Presión de Calibración, F_{Temp} [Adim]	Contrapresión [Psig]	Presión de Calibración [Psig]		Desviación Calculada-Actual [%]
							Calculada	Actual	
ALAY	SV-37023	B	220	470	1,017	35	224	227	1,3
FMAY-1/2	SV-19006	B	85	120	1,000	10	85	85	0,0
	SV-19019	C	251	423	1,014	2	252	251	0,4
	SV-19020	C	251	423	1,014	2	252	251	0,4
	SV-19023	C	251	423	1,014	3	251	251	0,0
	SV-19024	C	251	423	1,014	3	251	251	0,0
	SV-19025	C	105	330	1,008	15	90	105	16,7
	SV-19026	C	105	345	1,009	4	101	105	4,0
	SV-19027	B	89	120	1,000	13	89	89	0,0
	SV-19029	C	85	340	1,009	3	83	85	2,4
	SV-19030	C	85	334	1,008	7	75	85	13,3
	SV-19033	B	105	267	1,004	6	105	105	0,0
	SV-19034	B	105	267	1,004	6	105	105	0,0
	SV-19035	B	85	110	1,000	29	85	85	0,0
	SV-19036	B	85	110	1,000	29	85	85	0,0
	SV-19037	B	70	300	1,006	7	70	70	0,0
	SV-19038	B	85	237	1,000	2	85	85	0,0
	SV-19039	B	60	227	1,000	5	60	60	0,0
	SV-19040	B	60	227	1,000	5	60	60	0,0
	SV-19041	B	89	110	1,000	28	89	89	0,0
	SV-19044	C	251	423	1,014	5	249	251	0,8
SV-19045	B	60	310	1,007	3	60	60	0,0	
SV-19046	B	60	110	1,000	3	60	60	0,0	
SV-19047	B	60	110	1,000	2	60	60	0,0	

Tabla 7.11: Comparación de la presión de calibración calculada con respecto a la actual (Cont.)

Unidad	Válvula	Tipo	Presión de Disparo [Psig]	Temperatura de Alivio (°F)	Factor corrector de la Presión de Calibración, F_{Temp} [Adim]	Contrapresión [Psig]	Presión de Calibración [Psig]		Desviación Calculada-Actual [%]
							Calculada	Actual	
FMAY-1/2	SV-20013	C	60	286	1,005	4	56	60	7,1
HDAY-2	SV-14004	C	575	170	1,000	17	558	575	3,0
	SV-14005	C	575	170	1,000	17	558	575	3,0
	SV-14007	B	455	560	1,023	35	465	469	0,9
	SV-14015	C	430	214	1,000	1	429	455	6,1
	SV-14016	C	575	206	1,000	53	522	575	10,2
	SV-14019	C	70	62	1,000	2	68	70	2,9
HDAY-3	SV-15004	C	1000	169	1,000	105	895	1000	11,7
	SV-15033	C	130	114	1,000	6	124	130	4,8
	SV-15034	C	835	630	1,027	127	727	835	14,9
	SV-15037	B	100	101	1,000	3	100	100	0,0
	SV-15042 (2)	P	745	120	1,000	106	745	745	0,0
	SV-15045	B	60	150	1,000	71	60	60	0,0
HDAY-4	SV-16004	C	1000	169	1,000	105	895	1000	11,7
	SV-16027	C	130	114	1,000	6	124	130	4,8
	SV-16028	C	835	630	1,027	127	727	835	14,9
	SV-16033 (2)	P	745	120	1,000	55	745	745	0,0
	SV-16038	B	100	101	1,000	3	100	100	0,0
	SV-16041	B	60	150	1,000	71	60	60	0,0
NFAY-3/ MEROX	SV-13001	C	130	213,7	1,000	11	118	130	10,2
	SV-13007	B	130	460	1,016	13	132	130	1,5
	SV-13008	B	150	475	1,017	7	153	150	2,0
	SV-13009	B	130	460	1,016	12	132	130	1,5
	SV-13010	B	130	460	1,016	14	132	130	1,5

Tabla 7.11: Comparación de la presión de calibración calculada con respecto a la actual (Cont.)

Unidad	Válvula	Tipo	Presión de Disparo [Psig]	Temperatura de Alivio (°F)	Factor corrector de la Presión de Calibración, F_{Temp} [Adim]	Contrapresión [Psig]	Presión de Calibración [Psig]		Desviación Calculada-Actual [%]
							Calculada	Actual	
NFAY-3 / MEROX	SV-13011	B	150	475	1,017	7	153	150	2,0
	SV-13016 (1)	B	40	317,4	1,010	1	40	40	0,0
	SV-13019	B	33	370	1,011	2	33	33	0,0
	SV-13020	B	35	370	1,011	1	35	35	0,0
	SV-13021	C	130	100	1,000	9	120	130	8,3
PSAY-5 / NFAY-4	SV-5019	B	80	215	1,000	9	80	80	0,0
	SV-5024	B	428	885	1,043	22	446	448	0,4
	SV-5025	B	300	685	1,030	20	309	314	1,6
	SV-5026	B	170	325	1,008	47	171	175	2,3
	SV-5027	B	80	244	1,000	11	80	85	6,3
	SV-5033	C	250	480	1,018	1	254	252	0,8
SUAY-3	SV-43029	B	95	80	1,000	61	95	95	0,0
	SV-43041	B	50	308	1,007	58	50	50	0,0
	SV-43042	B	50	308	1,007	58	50	50	0,0
SWAY-1/2	SV-20008	C	50	308	1,007	2	49	40	18,4
	SV-20016	C	150	110	1,000	5	145	150	3,4
	SV-20017	C	110	252	1,003	2	108	110	1,9
	SV-20018	B	85	340	1,009	3	86	85	1,2
	SV-20019	C	150	380	1,011	1	150	150	0,0
	SV-20020	B	50	308	1,007	2	50	50	0,0
	SV-28006	C	50	308	1,007	2	48	40	16,7
	SV-15039	C	205	80	1,000	1	204	205	0,5

CAPÍTULO VIII

ANEXOS

ANEXO 1. PARTES PRINCIPALES DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD

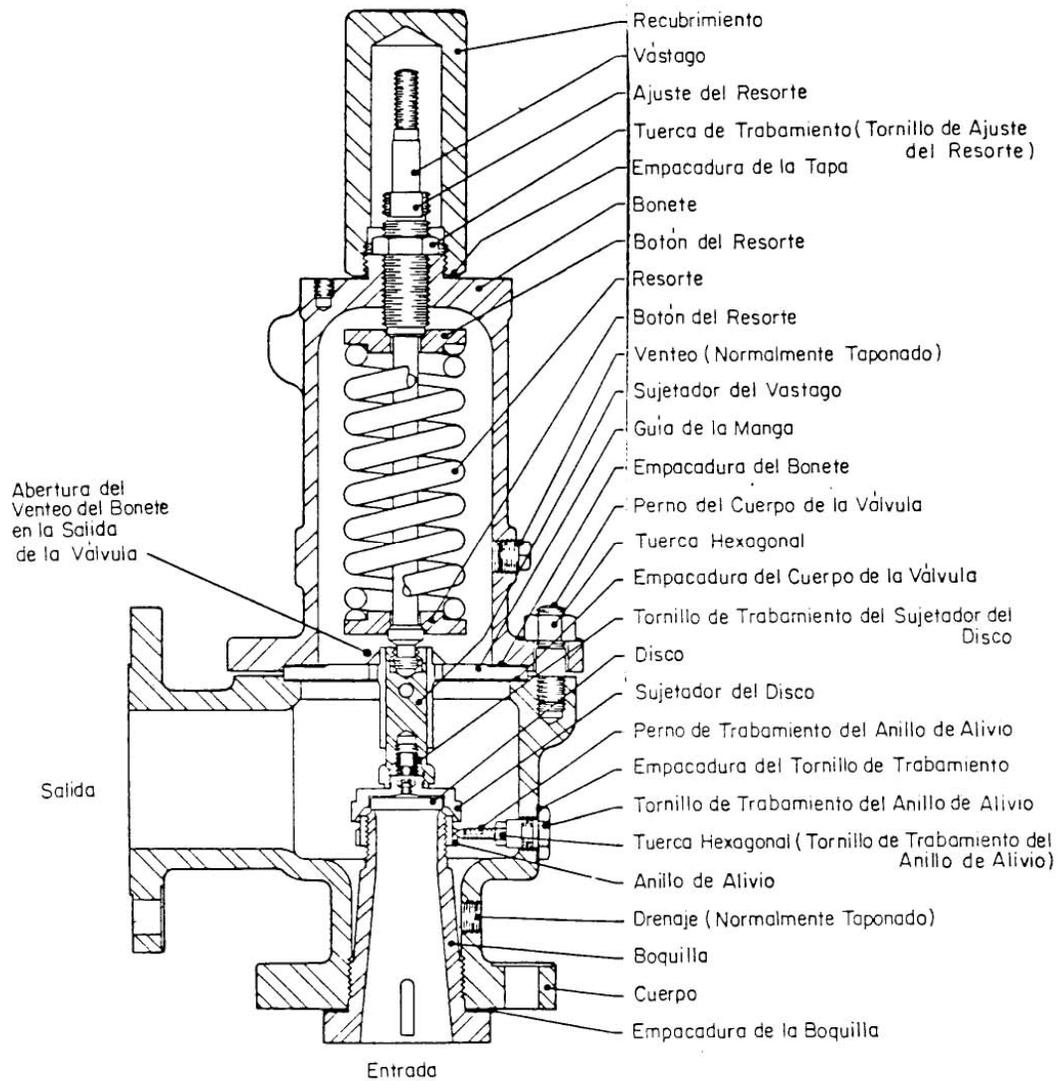


Figura 8.1: Partes principales de una válvula de seguridad tipo convencional típica

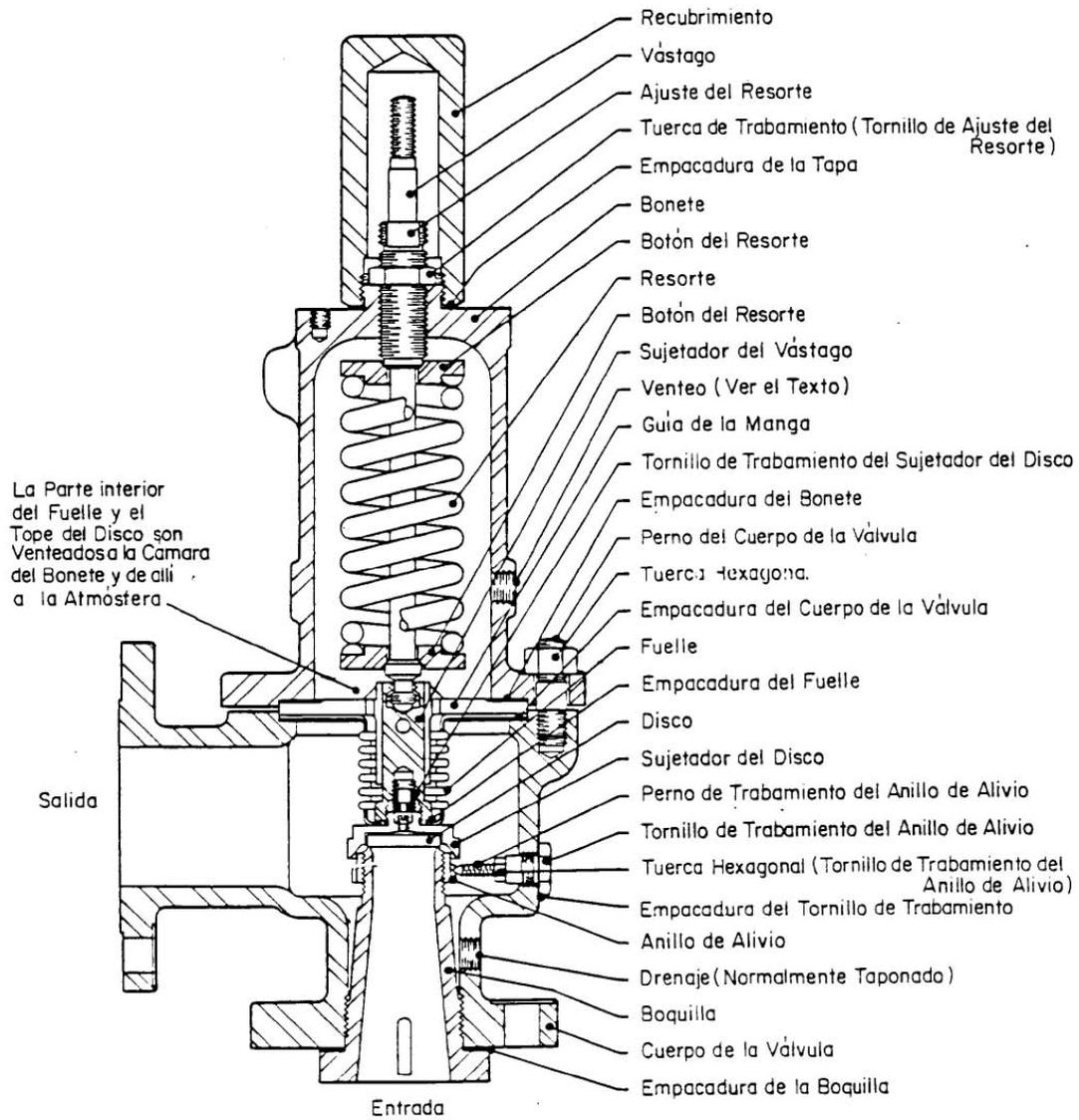
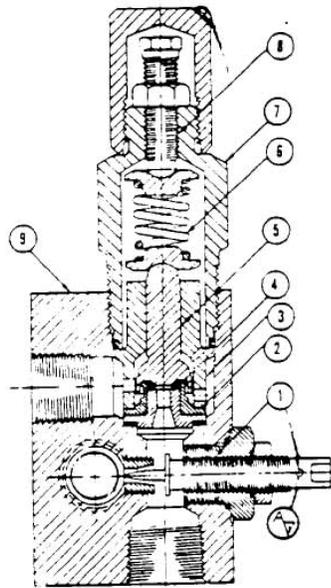


Figura 8.2: Partes principales de una válvula de seguridad tipo balanceada típica



VALVULA PILOTO

Nº IDENTIFICACION DE LAS PARTES

- 1 AJUSTE DE ALIVIO
- 2 BOQUILLA DE DOS PIEZAS
- 3 GUIA DEL VASTAGO
- 4 ASIENTO DE ANILLO EN "O"
- 5 ARBOL
- 6 RESORTE
- 7 BONETE
- 8 TORNILLO DE AJUSTE
- 9 CUERPO

VALVULA PRINCIPAL

Nº IDENTIFICACION DE LAS PARTES

- 1 CUERPO
- 2 BOQUILLA
- 3 ASIENTO
- 4 RETENEDOR DEL ASIENTO
- 5 GUIA
- 6 PISTON
- 7 SELLO DEL PISTON
- 8 RESORTE PARA TRANSPORTE
- 9 RECUBRIMIENTO
- 10 TUBO DE SUMINISTRO
- 11 VALVULA PILOTO
- 12 TUBO DE DESCARGA
- 13 TORNILLO DE AJUSTE DEL LEVANTAMIENTO
- 14 TUBO ALIMENTADOR

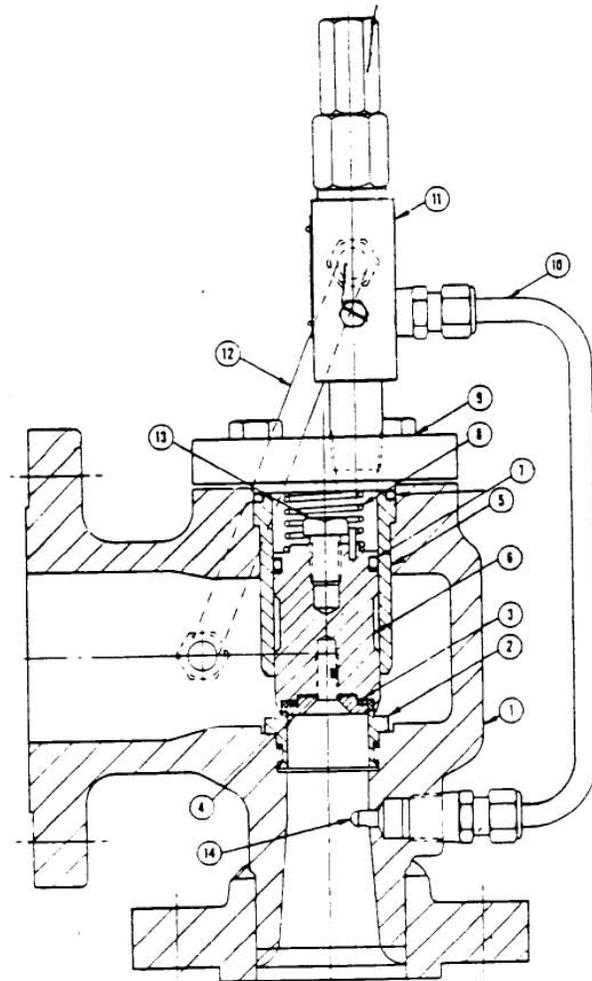


Figura 8.3: Partes principales de una válvula de seguridad operada por piloto típica

ANEXO 2. CAÍDAS DE PRESIÓN EN BOQUILLAS DE MECHURRIOS JOHN ZINK

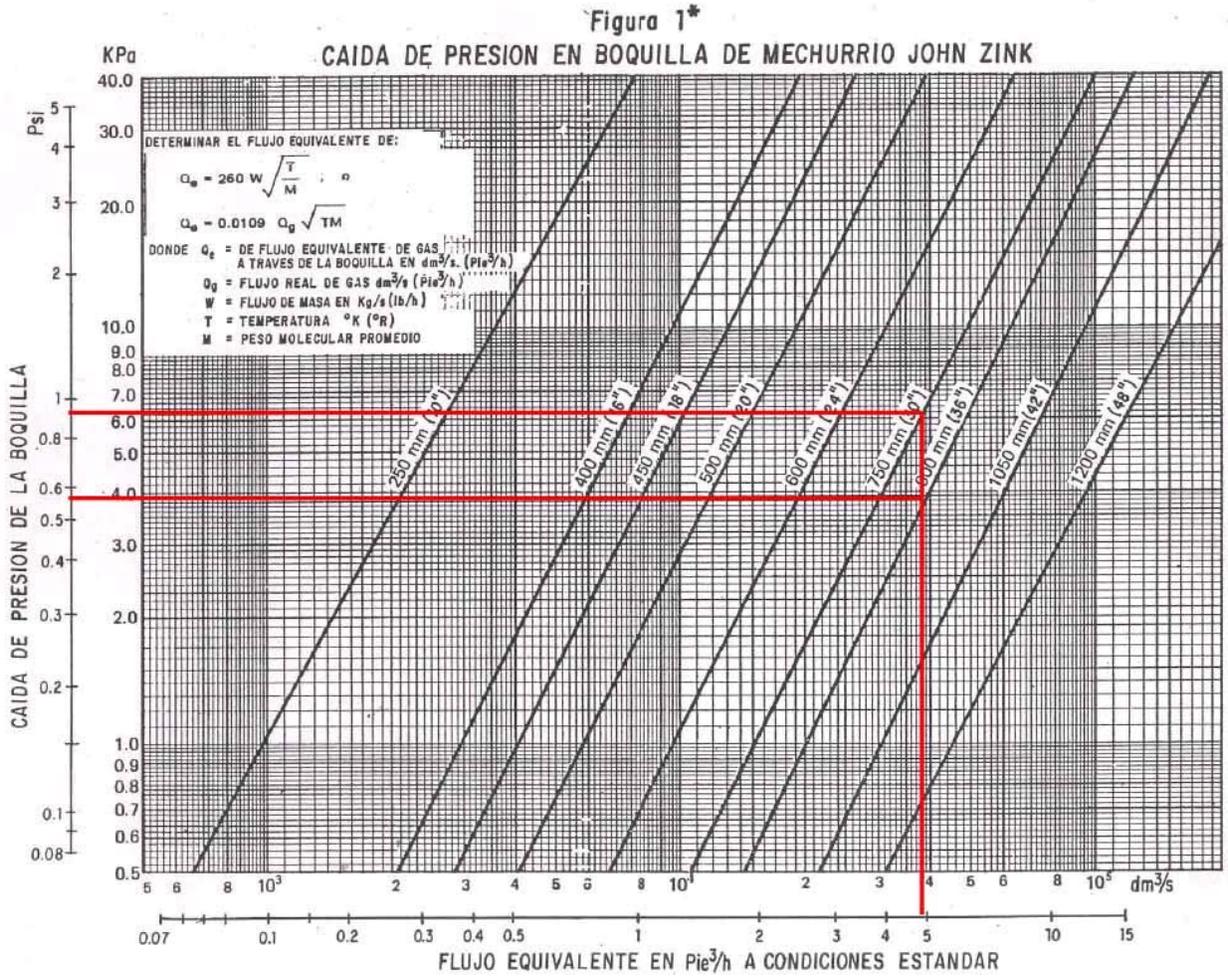


Figura 8.4: Caídas de presión en boquillas de mechurrios John Zink

**ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS DE LOS MECHURRIOS 2 Y 3 DE LA
REFINERÍA DE AMUAY**

Tabla 8.1: Características de interés de los Mechurrios 2 y 3 de la Refinería de Amuay

	MECHURRIO NRO 2	MECHURRIO NRO 3
Tambor separador	D-2203	D-2201
Diámetro interno de la boquilla [pulg]	26,0	32,0
Altura de la boquilla [pie]	250	350

ANEXO 4. ÁREAS DE ORIFICIO EFECTIVAS EN VÁLVULAS DE SEGURIDAD**Tabla 8.2: Áreas de orificio efectivas en válvulas de seguridad**

Tamaño de Orificio	Área de Orificio Efectiva (Pulg ²)	Diam Entrada-Salida posibles
D	0,110	1D2
		1,5D2
		1,5D3
E	0,196	1E2
		1,5E2
		1,5E3
F	0,307	1,5F2
		1,5F3
G	0,503	1,5G3
		2G3
H	0,785	1,5H3
		2H3
J	1,287	2J3
		3J4
K	1,838	3K4
		3K6
L	2,853	3L4
		4L6
M	3,600	4M6
N	4,340	4N6
P	6,380	4P6
Q	11,050	6Q8
R	16,000	6R8
		6R10
T	26,000	8T10

ANEXO 5. FACTOR MULTIPLICADOR DE LA PRESIÓN DE AJUSTE PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN DE CALIBRACIÓN A TEMPERATURA AMBIENTE

Tabla 8.3: Factor multiplicador de la presión de ajuste para la estimación de la presión de calibración a temperatura ambiente para las válvulas *Consolidated*[®] de la serie 1900 y serie 19000

Temperatura de Operación [°F]	Factor Multiplicador	Temperatura de Operación [°F]	Factor Multiplicador
250	1,003	900	1,044
300	1,006	950	1,047
350	1,009	1000	1,050
400	1,013	1050	1,053
450	1,016	1100	1,056
500	1,019	1150	1,059
550	1,022	1200	1,063
600	1,025	1250	1,066
650	1,028	1300	1,069
700	1,031	1350	1,072
750	1,034	1400	1,075
800	1,038	1450	1,078
850	1,041	1500	1,081

Fuentes:

- *Consolidated*[®]: *Installation, Operation and Maintenance Manual 1900TM Series Consolidated[®] Safety Relief Valve. The Eductor Tube AdvantageTM.*
- *Consolidated*[®]: *Installation, Operation and Maintenance Manual Consolidated[®] Safety Relief Valve. Series 19000.*

Tabla 8.4: Factor multiplicador de la presión de ajuste para la estimación de la presión de calibración a temperatura ambiente para las válvulas *Anderson Greenwood*® modelo 727

POSRV

Temperatura de Operación [°F]	Factor Multiplicador
<295°F	1,000
295°F a 400°F	1,010
401°F a 800°F	1,030

Fuente: *Anderson Greenwood 727 POSRV: Installation, Operation and Maintenance Manual.*

Tabla 8.5: Factor multiplicador de la presión de ajuste para la estimación de la presión de calibración a temperatura para las válvulas *Crosby*® estilos JOS-E, JBS-E, JLT*-JBS-E, JLT*-

JOS-E

Temperatura de Operación [°F]	Factor Multiplicador
<150°F	1,000
151°F a 600°F	1,010
601°F a 800°F	1,020
801°F a 1000°F	1,030

Fuente: *Crosby Style JOS-E, JBS-E, JLT*-JBS-E, JLT*-JOS-E Valves: Installation and Maintenance Manual (IS-V3137B)*