

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE LA REFINERÍA EL CHAURE**

REALIZADO POR:

**QUELIN AMADA CASTRO GONZÁLEZ**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**

PUERTO LA CRUZ, OCTUBRE DE 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE LA REFINERÍA EL CHAURE**

**ASESORES:**

---

**Ing. Yraima Salas**  
Asesor Académico

---

**Ing. Sonia Troyer**  
Asesor Industrial

PUERTO LA CRUZ, OCTUBRE DE 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE LA REFINERÍA EL CHAURE**

**JURADOS:**

---

**Ing. Yraima Salas**  
Asesor Académico

---

**Ing. Arturo Rodolfo**  
Jurado Principal

---

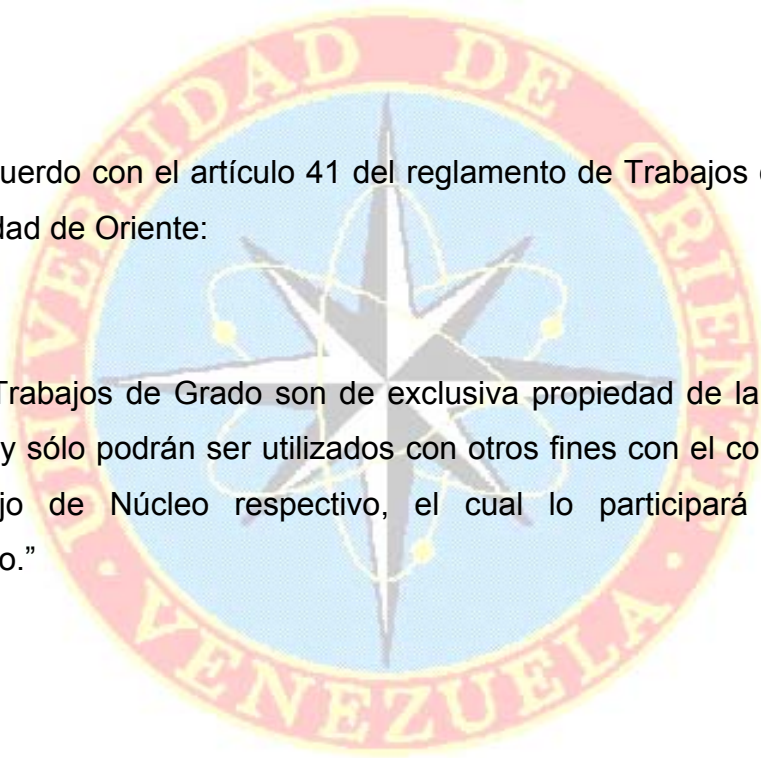
**Ing. Luis Moreno**  
Jurado Principal

PUERTO LA CRUZ, OCTUBRE DE 2010

## RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados con otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario.”



## DEDICATORIA

Cuando una persona desea realmente algo, el universo entero conspira para que pueda realizar su sueño. A Dios y la virgen (en especial la virgen Rosa mística, virgen de la caridad), al sagrado corazón de Jesús por siempre cuidarme y darme la oportunidad de lograr mis metas y sueños.

A mis padres, Eliseo Castro y Raquel de Castro porque se merecen esto y mucho mas, han sido mi motivación, me han ayudado, apoyado incondicionalmente, por el gran esfuerzo que han hecho para que yo pudiera alcanzar esta meta, sobre todo tu mami, te admiro! para ustedes que son lo mas grande que tengo y a quienes amo con todo mi corazón.

A mis hermanas Victoria (mi puchin querida), Sabrina, Silvana y sobrinos, Yoelvi y Eliseo; no importan los tropiezos que uno tenga en el camino lo realmente importante es llegar a lograr lo que se quiere, con el corazón, esfuerzo y dedicación, todo se logra solo ay que quererlo y luchar por ello, Dios esta siempre dispuesto a ayudar.

A mi abuela Modesta González, por estar pendiente de su hija más chiquita, te quiero abuela.

A mis abuelos Josefa y Víctor Castro a quienes recordare y querré siempre.

A Margarita Bevilacqua, por todos esos momentos que pasamos juntas, por quererme como su propia hija, confiar en mí, cuidarme, apoyarme en todo, espero que donde quiera que estés te sientas orgullosa de tu hija, siempre te voy a querer y recordar margaret.

A mi padrino Paolo malavassi por el cariño que me brindo, siempre te recordare.

**Quelin Castro**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, la Virgen y al sagrado corazón de Jesús por ayudarme, cuidarme y guiarme siempre.

A mis padres, Eliseo Castro y Raquel de Castro por su gran apoyo, ayuda, confianza por ser mis padres maravillosos, son mi gran tesoro, estaré eternamente agradecida.

A mi hermana Ing Sabrina Castro, por ayudarme y apoyarme para lograr esta meta. Gracias nina.

A mi Ing Silvio Martínez por su gran ayuda, apoyo, compañía y por ese amor que siempre me brinda, por estar a mi lado, se que juntos seguiremos alcanzando muchas metas y sueños.

A la señora Ana García a quien siempre estaré agradecida por su ayuda cuando necesite, por esos consejos y por el cariño que siempre me brinda, es una persona especial a quien quiero y admiro.

A la doctora Carmen Hernández por ser mi doctora favorita, por sus consejos, ayuda y cariño, es una persona admirable a quien he tomado mucho cariño.

Al Ing Richard Ostos por su ayuda y asesoría en bombas y turbinas.

A mis amigos, mejor dicho hermanos a quienes adoro y con quienes he compartido momentos agradables, Zulivis, Laura, José Ángel, Guillermo, Hilda, Wladimir, Pedro, Freddy, Zoraida, Mercedes, Misnel, Tania, Eileen, Mailen, gracias a todos por ser personas muy especiales.

A mis compañeros y amigos de residencia Ámbar, German, Daniel. A Nohelys con quien compartí en mis primeros semestre y a quien considero como una hermana.

A la UDO por ser mi segunda casa y permitirme formarme, como profesional, al departamento de Ing Química y a todos esos profesores de

excelente formación académica y calidad humana tales como, Alexis Cova, Yuvi Moreno, Ana Colmenares, Luis Moreno, Frank Parra, Oswaldo Ochoa, Shirley Marfisi, Pascual Rodríguez etc.

A mi asesora académica Prof Yraima Salas por su gran ayuda, apoyo y buen trato, es una excelente profesora, gracias por todo.

Al profesor Arturo Rodulfo que ha pesar de todo su trabajo siempre saca un momento para atender a quienes lo necesiten, gracias por su ayuda, es un excelente profesor.

A PDVSA, Refinería PLC y Refinería El Chaure por permitirme realizar este proyecto, para poder culminar mi carrera.

A mi asesora industrial Sonia Troyer, por su ayuda, apoyo y cariño. A Ing Roxi Veliz por recibirme cuando llegue a refinería y por brindarme apoyo, confianza y cariño. Al Ing Yoel silva por sus buenos consejos y guía. A Ing Ziomara por siempre ayudarnos y brindarnos su amistad. Al Ing Eulogio Penoth por ser un excelente amigo y sacar tiempo de su trabajo para ayudarme, guiarme y compartir con el grupo, siempre te agradeceré tu apoyo, eres una gran persona. A Ing Neisy Cisneros por creer en mí aunque no me conocía y darme la oportunidad para realizar este proyecto. Gracias a todos!.

Al Ing José Daniel de servicios técnicos por su gran ayuda y valiosa información.

A la Ing Elisa Barrios por ser una gran persona, por estar siempre dispuesta a ayudarme, por el esfuerzo para conseguir lo que necesitáramos, gracias por todo.

A mis compañeros, con quienes compartí esos momentos en refinería, María Gabriela, Grace, Ángela, Daniel, Edgar, Rhosye y Lisa.

Al Ing Juan Velásquez por darme el empujón que necesitaba para hacer los cálculos, su ayuda fue muy útil, gracias.

Al Dr Otto Padrón por abrirme la puerta para poder hacer mi carrera cuando me parecía imposible entrar a la casa mas alta a cumplir mi sueño. Eternamente agradecida.

**Quelin Castro**



## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el sistema de alivio de la refinería El Chaure para su actualización y mejora, haciendo uso de herramientas tales como simulador de procesos Pro/II y Visual Flow. El primero tiene como objetivo determinar el flujo y la composición del alivio, los datos para determinar el área de las válvulas. El segundo la evaluación hidráulica del cabezal de alivio actual, verificando si las válvulas eran las adecuadas. Después de este estudio y con la determinación de las posibles fallas que pudieran generar sobrepresiones, tales como salida bloqueada en recipientes y bombas; rotura de tubos, expansión térmica en intercambiadores de calor; pérdida del reflujo, falla de agua de enfriamiento en torres y caso fuego donde se generan las zonas de incendio que cubren los recipientes y torres. Se llegó a simular todo un nuevo cabezal que cumple con lo establecido por las normas API 520, 521, normas PDVSA, y requerimientos de refinería, una de las cuales es colocar válvulas de bloqueo y purga antes y después de cada válvula de alivio. Todos los equipos para los cuales su carga de alivio no sea agua, vapor de agua, o gases no tóxicos ni inflamables deben estar conectados al cabezal de alivio, para lograr así un óptimo sistema, que pueda prestar protección a los equipos y seguridad al personal que labora en dicha planta.

## CONTENIDO

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN .....	ix
CONTENIDO .....	x
LISTADO DE FIGURAS.....	xiv
LISTADO DE TABLAS.....	1
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Petróleos de Venezuela.....	1
1.1.1 Refinería Puerto La Cruz.....	2
1.2 Planteamiento del problema .....	6
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 General.....	8
1.3.2 Específicos .....	8
CAPÍTULO II.....	9
MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Unidad de destilación DA-3 .....	10
2.2.1 Descripción del proceso .....	11
2.3 Sistemas de alivio de presión .....	17
2.4 Acumulación .....	18
2.5 Área de riesgo de incendio .....	18
2.6 Condición de alivio.....	18
2.7 Contingencia.....	18
2.8 Capacidad de cabezal de una bomba .....	20

2.9 Dispositivo de alivio de presión.....	20
2.10 Flujo sónico.....	20
2.11 Tipos de presiones tratadas en el estudio de un sistema de alivio ...	21
2.12 Potencia de freno nominal .....	23
2.13 Riesgo .....	23
2.14 Sistema de alivio de presión.....	23
2.15 Sobrepresión .....	23
2.16 Temperatura de alivio .....	24
2.17 Válvula de alivio (PR) .....	24
2.18 Válvula de seguridad .....	25
2.19 Válvula de alivio de seguridad .....	25
2.20 Válvula de alivio de vacío .....	25
2.21 Tipos de carga.....	26
2.22 Contingencias.....	27
2.23 Contrapresión .....	30
2.24 Golpeteo en las válvulas de seguridad .....	31
2.25 Tipos de válvulas de seguridad .....	33
2.26 Características de operación de válvulas de alivio y seguridad.....	37
2.27 Instalación de válvulas múltiples de alivio de presión.....	40
2.28 Principales causas de sobrepresión .....	42
2.29 Dimensionamiento del cabezal del mechorrio .....	43
2.30 Dimensionamiento de líneas de alivio .....	43
2.31 Dimensionamiento del tamaño de cabezales de alivio .....	44
2.32 Mal funcionamiento de las válvulas de seguridad.....	44
2.33 Simuladores.....	52
2.33.1 Simulador de procesos Pro/II .....	53
2.33.1.1 Métodos termodinámicos .....	55
2.34 Simulador Visual Flow .....	57
2.35. Explorador de procesos (Aspen Process Explorer) .....	58

2.35.1 Tendencia.....	60
2.35.2 Leyenda.....	60
2.35.3 Control del tiempo .....	60
2.36 Sistema de laboratorio.....	61
CAPITULO III.....	62
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	62
3.1 Comparación de las condiciones actuales de operación con las establecidas por las normas .....	62
3.2 Detectar las posibles fallas en el sistema de alivio de la refinería El Chaure.....	63
3.2.1 Recipientes.....	64
3.2.2 Torres de fraccionamiento.....	71
3.2.3 Intercambiadores de calor .....	80
3.2.4 Bombas .....	94
3.2.5 Turbinas de vapor.....	101
3.2.6 Dimensionamiento de válvulas de alivio.....	102
3.2.6.1 Alivio de gases .....	102
3.2.6.2 Alivio de líquidos .....	104
3.2.6.3 Alivio de vapor de agua.....	106
3.2.7 Tamaños comerciales API de válvulas de alivio.....	107
3.3 Proponer mejoras al sistema de alivio .....	108
CAPITULO IV.....	110
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	110
4.1 DISCUSION DE RESULTADOS.....	110
4.1.1 Comparación de las condiciones actuales de operación con las establecidas por las normas API 520, 521 y PDVSA. ....	110
4.1.2 Detectar las posibles fallas en el sistema de alivio de la refinería El Chaure.....	111

4.1.3 Proponer mejoras al sistema de alivio.....	121
4.1.3.1 Condiciones bajo las cuales se realizo la simulación en Visual Flow 5.2 del nuevo cabezal de alivio.....	122
4.1.3.2 Propuestas para las mejoras.....	129
4.2 CONCLUSIONES .....	131
4.3 RECOMENDACIONES.....	132
BIBLIOGRAFIA.....	134
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	136

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Refinería Puerto la Cruz. (Libro de refinería, 2006).....	3
Figura 1.2. Red De Conexión De La Refinería Puerto La Cruz (Libro de refinería, 2006).....	3
Figura 2.1 Diagrama simplificado de la unidad de destilación atmosférica DA–3. (ISP, 2007).....	12
Figura 2.2. Características de una válvula típica de alivio de presión (Norma API 520, 2008).....	19
Figura 2.3 Diversidad de válvulas de seguridad en el mercado.....	25
Figura 2.4 Efecto de la contrapresión en la válvula de seguridad tipo convencional. (API 520, 2008).....	35
Figura 2.5 Válvula de alivio convencional de resorte comprimido sin fuelle. (API 520, 2008).....	35
Figura 2.6 Efecto de la contrapresión en la válvula de seguridad tipo balanceada (API 520,2008).....	36
Figura 2.7 Válvula de alivio de presión de fuelle balanceado.....	37
Figura 2.8 Válvula de alivio de presión operada por piloto.....	37
Figura 2.9 Presentación del programa de simulación Pro/II.....	54
Figura 2.10 Presentación del programa visual flow.....	59
Figura 2.11 Pantalla de presentación grafica del explorador de procesos....	59
Figura 3.1 Simulación Visual Flow del cabezal de alivio actual.....	64
Figura 3.2 Tambor V-7 acumulador de gasolina no estabilizada.....	65
Figura 3.3. Simulación corriente de entrada V-7 y propiedades del fluido a aliviar.....	67
Figura 3.4. Muestra la superficie mojada dentro de los 25 pie de los recipientes contemplado para caso fuego.....	67

Figura 3.5. Simulación de los flashes para obtener el calor de vaporización.....	72
Figura 3.6. Hoja de cálculo para caso fuego del tambor V-7 .....	73
Figura 3.7. Plano DA-3 ubicación de las zonas con respecto al área correspondiente para caso fuego.....	74
Figura 3.8. Diagrama de simulación en Pro/II de la torre V-3. ....	75
Figura 3.9. Simulación Tambor V-7 con sus respectivas corrientes. ....	76
Figura 3.10. Flash en Pro/II de la corriente de tope V-3 .....	76
Figura 3.11. Mezclador en Pro/II de las corrientes que entran en la zona de despojamiento de la V-3 .....	77
Figura 3.12. Flash de la corriente de mezcla de donde se obtiene el flujo de alivio por pérdida de reflujo.....	78
Figura 3.13. Simulación Pro/II para obtener calor de vaporización.....	79
Figura 3.14. Hoja de calculo elaborada en Excel para la obtención del flujo de alivio para caso fuego de torre V-3. ....	81
Figura 3.15. Diagrama de tubería e instrumentación de los E-10A/B .....	82
Figura 3.16 Simulación Pro/II de los Flash para obtener el calor de vaporización.....	83
Figura 3.17 Simulación Pro/II intercambiador de calor E-9A para obtener el calor .....	84
Figura 3.18. Simulación en Pro/II para verificar la fase de los fluidos fríos a la condición de alivio y las propiedades del fluido frío a la condición normal y sus respectivas propiedades, de los intercambiadores E-10 A/B. ....	87
Figura 3.19. Hoja de cálculo para obtener los flujos de alivio de los intercambiadores E-10 A/B. ....	88
Figura 3.20 Simulación intercambiadores E-10A/B y corrientes a condiciones de alivio.....	90
Figura 3.21 Algoritmo para la determinación del flujo de alivio por rotura de tubos. ....	95

Figura 3.22 Diagrama de tubería e instrumentación para las bombas P-9A /B .....	96
Figura 3.23 Curvas de la bomba P-9/ 9A.....	96
Figura 3.24 Simulación corriente líquida que maneja la bomba P-9 .....	97
Figura 3.25 Diagrama de proceso de la bomba P-9 .....	98
Figura 3.26. Ecuación polinómica de la curva característica de la bomba P-9 .....	100
Figura 3.27 Procedimiento para dimensionar válvula de alivio de gases....	103
Figura 3.28 Procedimiento para dimensionar válvulas de alivio de líquido .....	104
Figura 3.29 Procedimiento para dimensionar válvulas de alivio de vapor de agua.....	106
Figura 4.1. Esquema de simulación (Visual Flow) del cabezal de alivio a condiciones actuales en planta.....	111
Figura 4.2 Simulación Visual Flow de la V-3 actualmente en planta.....	116
Figura 4.3 Simulación Visual Flow de la V-1 actualmente en planta.....	117
Figura 4.4. Simulación Visual Flow del nuevo cabezal de alivio como lo indican las normas.....	123



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 Significado de los colores mientras se suministran datos a la simulación .....	54
Tabla 2.2 Significado de los colores mientras se ejecuta una corrida en Pro/II .....	55
Tabla 3.1 Flujo de vapor entrada V-7.....	66
Tabla 3.2. Calor Q de los intercambiadores E-10A y E-10B extraída del simulador Pro/II.....	87
Tabla 3.3 Intercambiadores evaluados por rotura de tubos.....	89
Tabla 3.4 Pshutoff de la bomba P-9 y presión de diseño de los equipos aguas abajo. ....	98
Tabla 3.5 Cálculos en hoja Excel para el cabezal desarrollado para la bomba a condiciones de alivio .....	100
Tabla 3.6 Hoja de cálculo realizada para dimensionar válvulas de alivio de líquidos de intercambiadores .....	105
Tabla 3.7 Tamaños comerciales API de válvulas de alivio .....	108
Tabla 4.1 Flujos de alivio y características de las válvulas conectadas actualmente al cabezal de alivio .....	112
Tabla 4.2 Resultados en Visual Flow de contrapresiones y áreas requeridas de los equipos que descargan actualmente al cabezal.....	113
Tabla 4.3 Flujos de alivio y características de las válvulas en caso de incendio de los equipos conectados actualmente al cabezal de alivio.....	113
Tabla 4.4. Resultados de la simulación Visual Flow de caso fuego de los equipos conectados actualmente al cabezal de la DA-3.....	114
Tabla 4.5 Flujos de alivio y características de las válvulas de los equipos que no descargan al cabezal de alivio .....	115

Tabla 4.6 Resultados de la simulación Visual Flow de los equipos que no descargan al cabezal de alivio .....	115
Tabla 4.7 Resultados de expansión térmica en intercambiadores.....	118
Tabla 4.8. Resultados de falla rotura de tubo de intercambiadores .....	120
Tabla 4.9 Flujos de alivio y características de las válvulas de alivio para las bombas de la DA-3 .....	120
Tabla 4.10 Flujos de alivio y características de las válvulas de alivio de las turbinas. ....	121
Tabla 4.11 Flujos de alivio y características de las válvulas de alivio del nuevo cabezal de alivio.....	124
Tabla 4.12 Resultados de la simulación Visual Flow para el nuevo cabezal de alivio.....	125
Tabla 4.13 Flujos de alivio y características de las válvulas en caso de incendio de los equipos conectados actualmente al nuevo cabezal de alivio.....	125
Tabla 4.14 Resultados de la simulación Visual Flow de los casos fuego del nuevo cabezal de alivio.....	126
Tabla 4.15 Resultados de flujo sónico para falla de pérdida de reflujo de la torre V-3.....	127
Tabla 4.15 Resultados de flujo sónico para falla de pérdida de reflujo de la torre V-3 (continuación) .....	128

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Petróleos de Venezuela**

Fue creada el 30 de agosto de 1975 y nacionalizada el 01 de enero de 1976; es la casa matriz encargada del desarrollo industrial petrolero, petroquímico, carbonífero, y de asumir funciones de planificación, coordinación, supervisión, y de controlar las actividades operativas de sus divisiones dentro y fuera del país. Durante el primer año de operación, Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) inició sus acciones con 14 filiales, posteriormente quedando con tres de ellas: Lagoven, Maraven y Corpoven. Años después es creada la Petroquímica de Venezuela, S. A. (Pequiven), dirigida a organizar el negocio de la producción petroquímica.

A mediados de los 80, la principal empresa del país inicia una expansión tanto a nivel nacional como internacional, con la compra y participación en diversas refinerías ubicadas en Europa, Estados Unidos y el Caribe. El 15 de septiembre Petróleos de Venezuela adquiere a la empresa Citgo, en Tulsa, Estados Unidos, como estrategia de comercialización de hidrocarburos en Norteamérica, con más de 100 estaciones de servicios y casi el 20% de las ventas de gasolina en EEUU.

El 01 de enero de 1998 Petróleos de Venezuela integra en su estructura operativa y administrativa las tres filiales. En este sentido se crearon tres divisiones funcionales: PDVSA Exploración y Producción, PDVSA Manufactura y Mercadeo y PDVSA Servicios. PDVSA logra ser considerada

como una empresa confiable en el suministro de grandes volúmenes de petróleo a escala mundial, gracias a la calidad y responsabilidad. En esta fase, petróleos de Venezuela se consolida como una de las principales compañías petroleras multinacionales.

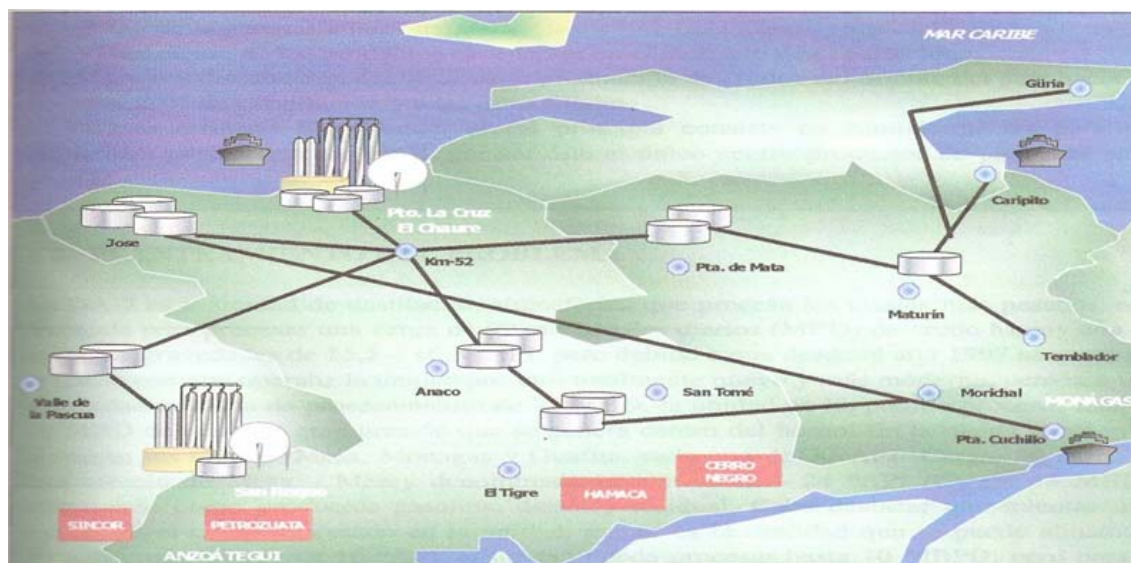
Actualmente se encuentra entre las empresas líderes en el negocio de refinación, llevando a cabo actividades en materia de exploración y producción de petróleo, gas, bitumen y crudo pesado de la faja Petrolífera del Orinoco, además de realizar tareas de investigación y desarrollos tecnológicos, educación y adiestramiento en sectores vinculados con la industria energética. Dentro del país, PDVSA está dividida en cuatro zonas: Centro, Occidente, Sur y Oriente. La zona oriental abarca cinco distritos operacionales: San Tomé, Punta de Mata, Anaco, Maturín y Puerto La Cruz. El Distrito Puerto La Cruz, esta conformado por las Refinerías Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque (Libro de Refinería, 2006).

### **1.1.1 Refinería Puerto La Cruz**

La refinería Puerto La Cruz es uno de los centros de procesamientos de crudo más importantes de PDVSA e integra un circuito de manufactura del petróleo extraído en los campos de los estados Monagas y Anzoátegui. Abarca tres áreas operacionales: Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque, ubicadas en el norte y centro del estado Anzoátegui respectivamente, con una capacidad total de procesamiento de crudos de 200 mil barriles por día, de los cuales se obtienen 73 mil barriles de gasolina y nafta, 12 mil barriles de kerosene-jet, 43 mil barriles de gasoil y 73 mil barriles de residual, insumos y requeridos para la mezcla de combustibles comercializados en los mercados interno y de exportación. (Ver figura 1.1 y 1.2)



**Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Refinería Puerto la Cruz. (Libro de refinería, 2006)**



**Figura 1.2. Red De Conexión De La Refinería Puerto La Cruz (Libro de refinería, 2006)**

La refinería Puerto La Cruz tiene como finalidad principal abastecer la demanda de combustible del mercado interno sur-oriental, exporta los productos excedentes dentro de la empresa, tales como la nafta, residual, bunkers, crudos, entre otros, así como manejar la producción de crudos en el oriente del país. Está distribuida de la siguiente manera: unidades de procesos, unidades de tratamiento y recuperación de azufre, servicios industriales y planta de hidroprocesos.

Además de estas unidades, consta de dos zonas de recibo y entrega de crudos y productos llamadas Terminal de Almacenamiento y Embarque El Chaure (TAECH) y Terminal de Almacenamiento y Embarque Guaraguao (TAEG); este último se subdivide en Patio de Tanques Refinería y Patio de Tanques Cerro de Carga donde se efectúa la recepción, almacenaje y entrega del crudo de las cinco troncales T-51, T-52, T-53, T-54 Mesa y T-54 Santa Bárbara, que reciben el crudo Merey, Mesa 28, Anaco Wax, Mesa 30 y Santa Bárbara respectivamente. Luego de esto, parte de este crudo pasa a los siete muelles que conforman el Terminal Marino de la refinería Puerto La Cruz.

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. Estos 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 seguro de expeler 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 expuestos 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 sobrepresión. 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, la presencia de flujo sónico en algún tramo de la 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 mantener este valor lo mas bajo 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 futuros mayores.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Petróleos de Venezuela es una corporación de la República Bolivariana de Venezuela, encargada de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, comprometida con la protección ambiental, con la finalidad de fortalecer el uso correcto de los recursos del país. La refinería Puerto La Cruz está ubicada en la costa nororiental del país, al este de la ciudad de Puerto La Cruz en el estado Anzoátegui, siendo uno de los centros de procesamiento de crudo más importante de PDVSA. La conforman las instalaciones de Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque. Actualmente en El Chaure se procesa crudo Santa Bárbara o crudo Anaco Wax y eventualmente una mezcla de ambos en distintas proporciones con una gravedad promedio entre 38 y 42 grados API. Los productos manejados son gas de refinería, gasolina estabilizada, kerosene, diesel, gasóleo pesado (actualmente fuera de servicio) y residual.

El sistema de alivio de la unidad DA-3 (Refinería El Chaure) fue instalado alrededor del año 1968 y desde ese momento hasta la actualidad han ocurrido cambios en la refinería que están afectando al sistema de alivio, por lo que es necesario conocer si cumple con las normativas establecidas por PDVSA y las normas internacionales 520 y 521 del Instituto Americano de Petróleo (API), y con ello verificar los equipos que no descargan al



cabezal del mechorrio, si se necesitan válvulas de alivio o si algunas necesitan ser reemplazadas, y si el diámetro de las tuberías es el adecuado para el manejo del flujo de alivio de dicha unidad.

Para lograr que la refinería cumpla con las normas descritas anteriormente se evaluó todo el sistema de alivio, equipos y las condiciones de operación actuales, las fallas probables que se puedan presentar en su funcionamiento, para así conocer la contingencia más crítica que genera mayor flujo de alivio. Además con la simulación hidráulica de todo el cabezal se pudo observar cuales son las modificaciones que se deben realizar en dicha unidad.

La realización de este trabajo es importante debido a que se hace necesario la disposición de manera segura de los gases de alivio descargados por las válvulas de seguridad, ya que de lo contrario representa peligro de explosión y contaminación del ambiente. Por otro lado ayuda a mantener el nivel de presión para el cual están diseñados los equipos de dicha unidad, asegurando su vida útil, le provee seguridad al personal de operación y disminuye las pérdidas de tiempo debidas a paradas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Evaluar el sistema de alivio de la Refinería El Chaure para su actualización y mejora.

#### **1.3.2 Específicos**

1. Comparar las condiciones actuales de operación con las establecidas por las normas.
2. Detectar las posibles fallas en el sistema de alivio de la refinería El Chaure.
3. Proponer mejoras al sistema de alivio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes**

En el año 2008, Renzulli, evaluó las válvulas de alivio de presión de la unidad de craqueo catalítico fluidizado de la refinería Puerto La Cruz de acuerdo a lo establecido en las normas API 520 y 521. Los escenarios estudiados fueron: salida bloqueada, fuego, expansión térmica, rotura de tubos, falla de reflujo y falla de enfriamiento. Para determinar si las válvulas están en la capacidad de aliviar el flujo a las condiciones de operación actual, se empleó el simulador Pro/II para determinar la carga de alivio y luego se estimaron las áreas de las válvulas de alivio requeridas.

En el año 2005, Borrell, evaluó el sistema de alivio de la unidad de destilación atmosférica DA-1 de la refinería de Puerto La Cruz. Se evaluaron los equipos de procesos ante las diferentes contingencias de sobrepresión recomendadas en la norma API 521 y a su vez, se efectuó una evaluación hidráulica a través del simulador comercial Inplant, de los cabezales de alivio de gas para verificar los criterios de diseño recomendados en la Norma API 521. Para cada contingencia evaluada se determinó el flujo de alivio correspondiente. Para las válvulas que descargan a un cabezal de gas, se determinó la contrapresión máxima, para el mayor flujo de alivio. Luego, se determinó el área del orificio de la válvula que se requiere para desalojar el flujo calculado, con las fórmulas recomendadas por la norma API 520. De esta evaluación se encontraron válvulas mal ajustadas, recipientes que no estaban protegidos por efectos de la sobrepresión, y válvulas subdimensionadas y sobredimensionadas.

En el año 1996, Sequera, evaluó el sistema de alivio cerrado de las unidades de destilación atmosférica DA 1 y DA 2 y craqueo catalítico de la refinería de Puerto La Cruz. Calculó las capacidades de alivio de las válvulas correspondientes y se detectaron problemas de sobrepresión causados por la falta de capacidad de alivio de las válvulas correspondientes en dos puntos del sistema cerrado. Se determinó que el flujo total aliviado es menor a la capacidad del mechorrio. Se evaluaron los números de Mach en las tuberías de los colectores principales involucrados en la contingencia, determinándose que estos son menores que 0,5, que corresponde al máximo valor del número de Mach para casos de emergencia. Para este flujo de alivio se determinaron los niveles de radiación, determinando el área donde los operadores no podían laborar debido a los niveles de intensidad de calor máximos permitidos.

Los trabajos anteriores tienen similitud con el trabajo a realizado, ya que realizan evaluaciones al sistema de alivio y a todos los equipos involucrados, y estudios de las diferentes contingencias de sobrepresión recomendadas por las normas API 520 y 521, de igual manera se realizan cálculos del diámetro del orificio requerido en las válvulas para el máximo flujo de alivio, utilización de el simulador Pro/II. Los mismos fueron realizados en la refinería de Puerto La Cruz.

## **2.2 Unidad de destilación DA-3**

La unidad de destilación atmosférica DA-3, perteneciente a dicha refinería, se encuentra ubicada a orillas de la Bahía de Bergantín, a 5 kilómetros de Puerto La Cruz. Fue diseñada originalmente para procesar 40.000 bbl/día (40 MBD) de crudo mediano y pesado entre 22 y 30 °API. En el año 1968 se ejecutaron algunas modificaciones para procesar crudo

liviano y extraliviano (40–42 °API). Actualmente se procesa crudo Anaco Wax y/o Santa Bárbara de 39 y 42 °API y se le incorpora residuo desparafinado de la Refinería San Roque. Además, se procesan mezclas entre los crudos Wax–Santa Bárbara con Mesa Troncal 54, dependiendo de las economías favorables. El contenido de sal en el crudo natural está en el rango de 4 a 10 libras por cada mil barriles (PTB en sus siglas en inglés), 0,2 % volumen de agua y sedimentos (A y S) y no existe sistema de desalación.

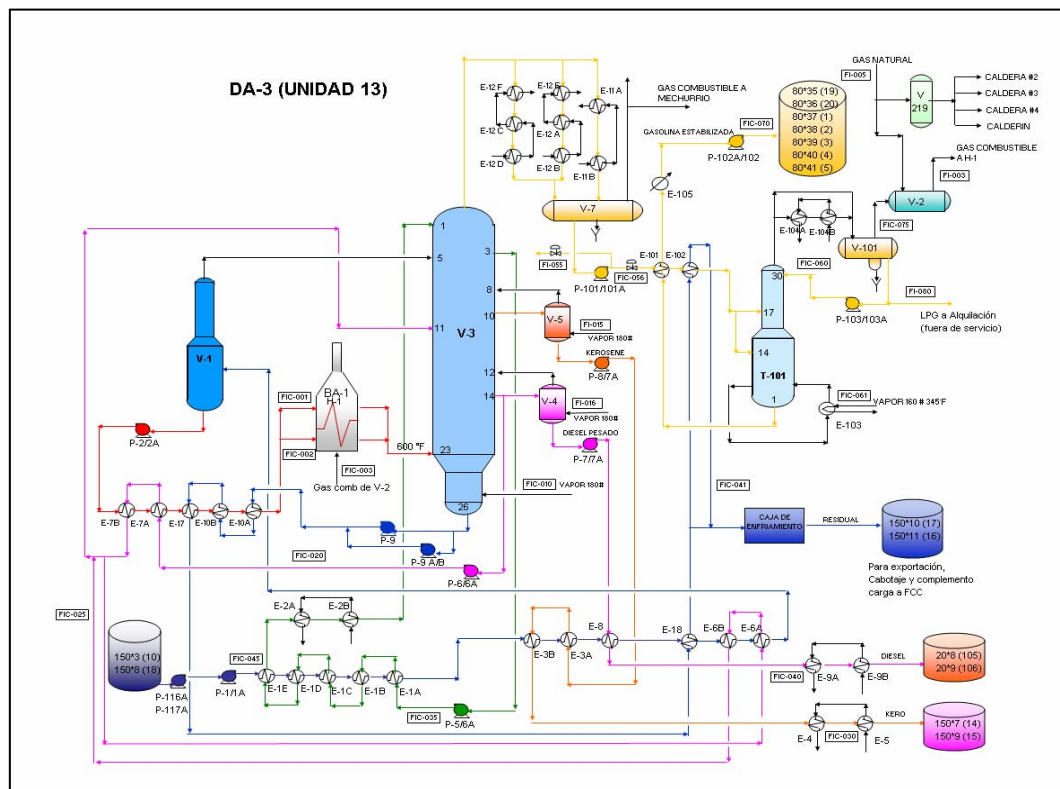
La unidad consta de los siguientes equipos: un primer tren de precalentamiento, una torre pre-flash (V–1), un segundo tren de precalentamiento, un horno de tipo cilíndrico vertical y de tiro natural (H–1), una torre fraccionadora principal (V–3), dos despojadores, una torre estabilizadora (T–101) y equipos rotativos. Dispone de generación propia de vapor (cuatro calderas), de aire comprimido y utiliza agua salada como fluido de enfriamiento. La instrumentación de la unidad es electrónica y se controla desde un búnker central. (Libro de Refinería PDVSA, 2006)

Lo resaltante de esta unidad, es la gran flexibilidad operacional que presenta, no solo en los equipos rotativos, donde cada bomba tiene una auxiliar de turbina a vapor, sino en la fraccionadora en sí, al procesar diferentes crudos con rango de gravedad y propiedades muy amplio. La figura 2.1 representa un esquema resumido de la unidad. (Libro de Refinería, 2006)

### **2.2.1 Descripción del proceso**

El crudo proveniente de los tanques de almacenamiento 10 ó 18 (tanques 150x3, 150x4 y 150x5), es descargado a la unidad por las bombas P-1/P1-A, a través de los intercambiadores del tren de precalentamiento (E –

1E / D / C / B / A) por lado tubo, respectivamente, para extraer calor de la corriente de reflujo de nafta (reflujo de tope de la torre de fraccionamiento V-3). Luego pasa por los intercambiadores E-3B / 3A (lado tubo) para absorber calor de la corriente de kerosene procedente de la torre despojadora V-5. Seguidamente, el crudo pasa por el intercambiador E-8 (lado tubo) para aprovechar el calor de la corriente de diesel despojado (producto de fondo de la torre despojadora V-4), pasa por el intercambiador E-18 (lado carcaza), para retirar calor de la corriente de residual proveniente de la torre de fraccionamiento V-3 y por los intercambiadores E- 6B / 6A (lado tubo), para absorber calor de la corriente de reflujo de diesel (reflujo intermedio del fraccionador V-3). Ver figura 2.1



**Figura 2.1 Diagrama simplificado de la unidad de destilación atmosférica DA-3. (ISP, 2007)**

Seguidamente el crudo va a la torre de pre-flash V -1 donde se vaporiza un 4% de la carga aproximadamente, enviándose los vapores producidos al plato N°5 de la torre de fraccionamiento V-3, mientras que la fase líquida es retirada por el fondo del tambor (crudo). Este crudo es descargado a través del resto de los intercambiadores que conforman el tren de precalentamiento mediante las bombas P-2 / 2A, específicamente pasa por los intercambiadores de calor E-7B / 7A (lado tubo) respectivamente, para retirar calor de la corriente de reflujo de diesel (reflujo intermedio de la fraccionadora V-3). Seguidamente el crudo absorbe calor en el intercambiador E-17 y luego en los intercambiadores E-10B/A (lado carcasa) respectivamente, de la corriente de residual de la fraccionadora V-3.

Finalmente este crudo precalentado es enviado al horno vertical H-1 de donde sale parcialmente vaporizado a una temperatura de transferencia entre 590-610°F, dependiendo de la alimentación de la planta.

El crudo ya caliente entra a la zona de expansión de la torre fraccionadora V-3 por el plato N°23. El crudo vaporizado asciende a través de la columna, mientras que la parte líquida desciende al fondo. Los vapores que salen del tope de la fraccionadora V-3 se ramifican en tres partes de manera de condensar estos por separado y paralelamente, dicha operación se realiza en los condensadores de tope E-12F/C/D, E- 12E/A/B y E- 11A/B, en donde el medio refrigerante es agua salada. El condensado de tope, es enviado al tambor acumulador V-7 de donde se separan por diferencia de densidad los siguientes productos: gas de proceso, gasolina no estabilizada y agua. El gas del proceso es enviado al quemador, la gasolina no estabilizada es succionada por las bombas P-101/ 101A para ser transferida, parte de ella, a la torre estabilizadora de gasolina T-101 y otra como reflujo al tambor acumulador V-7, mientras que el agua es enviada al drenaje.

A diferencia de otras torres de destilación, la torre fraccionadora V-3 no posee reflujo convencional de productos de tope provenientes del acumulador V-7. El reflujo de tope se hace con un “pumparound” que extrae líquido del plato N° 3, succionado por la bomba P-5 / P-6A y se enfría con el crudo de la planta en los intercambiadores E-1 A/B/C/D/E y luego con agua salada en los enfriadores E –2A /B, regresando al plato N°1 de la torre V-3.

A la altura del plato N°10 se extrae hacia el despojador V-5 la corriente de kerosene o diesel liviano para ser despojado con vapor de 165 psig, el cual es inyectado por la parte inferior del despojador.

El vapor junto con las fracciones livianas salen por el tope del despojador vía fraccionadora V-3 a la altura del plato N° 8, mientras que por el fondo sale el kerosene despojado, el cual es succionado por la bomba P-8/ P-7A para luego ser llevado lado carcaza por los intercambiadores de calor E-3A /B y así calentar la corriente de crudo de la planta. Seguidamente la corriente de kerosene pasa a los enfriadores E-4 / E-5 respectivamente, cuyo medio de enfriamiento es agua salada para luego ser llevado a almacenaje (los tanques de almacenaje de diesel y/o kerosene son: 20x8, 20x9, 150x9).

A la altura del plato N°14 se extrae la corriente de diesel pesado, de la cual una parte es retornada como reflujo intermedio y la otra es enviada al despojador de diesel V-4 utilizando vapor de 165 psig. Luego este vapor junto con las fracciones livianas salen por el tope del despojador y es retornado al fraccionador V-3 por el plato N° 12, mientras que por el fondo sale la corriente de diesel que es succionada por las bombas P-7 / 7A y llevada a través del intercambiador E-8 donde precalienta el crudo que está ingresando a la planta; seguidamente pasa por los enfriadores E-9A / B cuyo medio de enfriamiento es agua salada, para luego ser llevado a almacenaje.



Por otra parte, la corriente de reflujo intermedio es llevada mediante las bombas P-6 / 6A a través de los intercambiadores de calor E-7A / B (lado carcaza) para precalentar el crudo (lado tubo). En la salida del intercambiador E-7B, la corriente de reflujo de diesel es enfriada en los intercambiadores E-6A / B (lado carcaza) cumpliendo la misma función nombrada anteriormente. Posteriormente se unen las corrientes de salida de diesel de los intercambiadores E-6B y E-7B para finalmente retornar como reflujo intermedio a la fraccionadora V-3, a la altura del plato N°11.

Por el fondo de la torre fraccionadora V-3 se extrae el residual, el cual es succionado por medio de las bombas P-9/ P-9 A/ P-9B y llevado a través de los intercambiadores E-10A / 10B respectivamente (lado tubo), seguidamente pasa por los intercambiadores E-17 (lado carcaza) y E-18 (lado tubo) para precalentar el crudo. Posteriormente, pasa por el intercambiador E-102 (lado tubo) donde precalienta la nafta secundaria que va a la unidad T-101, luego es enviado a la caja de enfriamiento para finalmente ser llevado a almacenaje (tanques: 150x6, 150x7,150x10,150x11).

En la torre estabilizadora de gasolina T-101, la gasolina secundaria proveniente del tambor acumulador de gasolina V-7, es despojada de sus componentes más livianos (GLP) con la finalidad de convertirla en una gasolina más pesada y de mayor punto inicial de ebullición (mejorar en un 90%). Para realizar este proceso, la gasolina secundaria es succionada por la bomba P-101/101A y llevada a través del intercambiador E-101 (lado carcaza) donde se precalienta con la gasolina estabilizada que sale del fondo de la torre T-101, luego pasa (lado carcaza) por el intercambiador de calor E-102 donde se precalienta con la corriente de residual obtenida de la fraccionadora V-3 y así entrar al plato N°17 ó N°14 de la torre estabilizadora de gasolina (actualmente entra por el plato N°17).

Los gases que salen del tope de la torre estabilizadora de gasolina son condensados en el intercambiador E-104 A/B, cuyo medio de enfriamiento es agua salada. El condensado es enviado al tambor acumulador V-101 en donde se separan el gas de proceso, agua y gasolina estabilizada. El gas de proceso es enviado al tambor V-2, donde es mezclado con gas natural para ser utilizado como gas combustible en el horno H-1, donde el crudo es calentado hasta la temperatura de transferencia requerida para entrar a la torre de fraccionamiento V-3.

La gasolina condensada del tambor V-101, es succionada por las bombas P-103/103A y llevada como reflujo de tope a la altura del plato N°30 de la torre estabilizadora T-101 (platos enumerados de abajo hacia arriba). Debido a la poca producción de agua, la válvula que la envía al drenaje se mantiene cerrada.

Desde el plato N°1 de la torre estabilizadora T-101, se extrae una corriente de gasolina pesada la cual pasa a través del rehervidor E-103, donde se vaporiza la gasolina con un vapor de 165 psig para posteriormente ser retornada por la parte inferior de la torre T-101. Por el fondo se extrae la corriente de gasolina estabilizada, la cual es enfriada en el intercambiador de calor E-101 (lado tubo) por la corriente de gasolina no estabilizada. Luego pasa por el enfriador E-105 cuyo medio enfriante es agua salada. Seguidamente la corriente de gasolina estabilizada es succionada por la bomba P-102 / P-102A para ser llevada a almacenaje (Tanques: 80x35 al 80x41). (ISP, 2007)

### 2.3 Sistemas de alivio de presión

Un sistema de alivio es un sistema de desecho cerrado usado para proteger las unidades contra una presurización excesiva, siendo su propósito dirigir de manera segura, las corrientes de emergencia hacia el mechurrio 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 mechurrio, 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.
- Mechurrio(s), donde finalmente es quemado el gas.

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. (Prácticas de diseño, 1981)

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. (NORMA PDVSA # 90616.1.022, 1990)

## **2.4 Acumulación**

Aumento de presión sobre la máxima presión de trabajo permisible (MAWP) de un recipiente durante la descarga a través de un dispositivo de alivio de presión y se expresa en unidades de presión o como porcentaje de presión. Las acumulaciones máximas permisibles, se establecen por los códigos de diseño aplicables a contingencias operacionales y de fuego. (Ver figura 2.2).

## **2.5 Área de riesgo de incendio**

Una planta de proceso es subdividida en áreas de riesgo de incendio, cada una de las cuales es el área máxima que razonablemente puede esperarse estar involucrada totalmente en un incendio sencillo. Esto se usa como base para determinar el requerimiento combinado para alivio de presión debido a la exposición a un incendio.

## **2.6 Condición de alivio**

La condición de alivio se utiliza para indicar la presión y temperatura de entrada a los dispositivos de alivio para una acumulación o sobrepresión específica.

## **2.7 Contingencia**

Evento anormal que causa una condición de emergencia por sobrepresión en los equipos. Existen varios tipos de contingencias las cuales son:

**a) Contingencia remota**

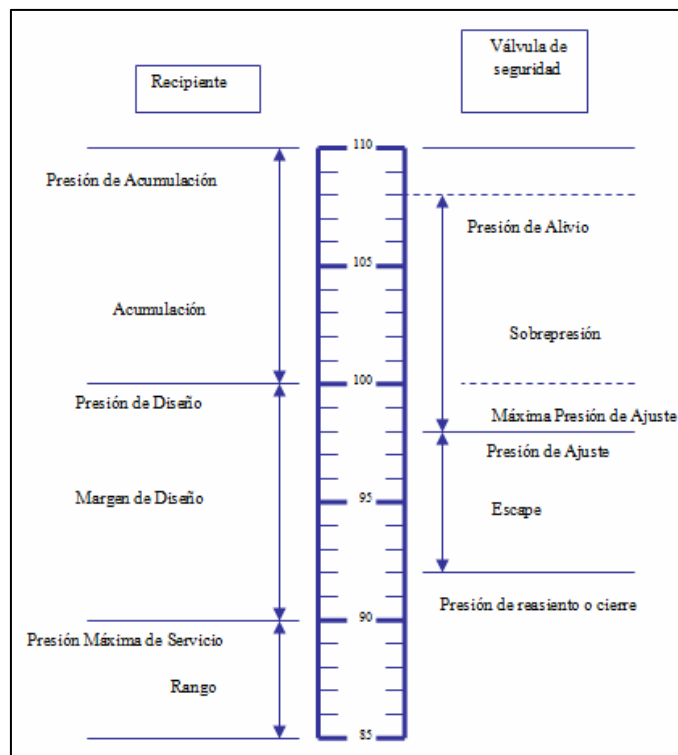
Resultado de una contingencia individual o general de muy baja probabilidad de ocurrencia.

**b) Contingencia singular**

Evento anormal asociado a un solo equipo o a equipos de un mismo sistema provocando una condición de emergencia por sobrepresión.

**c) Contingencia general**

Evento anormal que puede involucrar a dos o más equipos pertenecientes a sistemas diferentes, causando sobrepresión.



**Figura 2.2. Características de una válvula típica de alivio de presión (Norma API 520, 2008)**

## **2.8 Capacidad de cabezal de una bomba**

Es la tasa a la cual la energía puede ser añadida al fluido por la bomba para producir un aumento de presión a un caudal de flujo determinado.

## **2.9 Dispositivo de alivio de presión**

Un dispositivo de alivio de presión funciona por la presión estática interna y está diseñado para abrir durante una situación anormal o emergencia, de manera tal de prevenir un aumento excesivo de la presión de fluido interno, por encima de un valor específico. El dispositivo también puede estar diseñado para prevenir un vacío excesivo.

- **Dispositivo de disco de ruptura**

Es un diafragma delgado el cual es accionado por la presión estática de entrada y está diseñado para funcionar por la ruptura de un diafragma o disco retenedor de la presión. Usualmente está colocado entre bridas de montaje. El disco puede ser de metal, plástico o de metal y plástico.

- **Levantamiento**

Desplazamiento real del disco de una válvula de alivio de presión desde su posición cerrada hasta su posición abierta.

## **2.10 Flujo sónico**

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 hidrocarburos. 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.

## **2.11 Tipos de presiones tratadas en el estudio de un sistema de alivio**

### **a) Presión de shutoff**

Es la presión de la bomba a cero flujo, cuando su cabezal es máximo.

### **b) Presión de abertura**

Valor de presión estática, corriente arriba de la válvula, a la cual existe un levantamiento apreciable del disco y empieza a observarse un flujo de venteo continuo.

### **c) Presión de alivio**

La presión de alivio se determina a partir de la presión de ajuste del dispositivo de alivio más la acumulación o sobrepresión que corresponda según sea el caso.

**d) Presión de cierre**

Valor de la presión estática, aguas arriba de la válvula, a la cual el disco de la válvula hace contacto nuevamente con su asiento o cuando el levantamiento alcanza el valor de cero.

**e) 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.

**f) 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.

**g) Máxima presión de operación**

Máxima presión esperada durante la operación de un sistema.

**h) Máxima presión de trabajo permisible (MAWP)**

Máxima presión manométrica permisible en el tope de un recipiente a una temperatura especificada. La MAWP se calcula usando el espesor nominal de cada elemento del recipiente sin considerar el espesor adicional por corrosión ni otras cargas de presiones. Es la base para fijar la presión de un dispositivo de alivio de presión.



### **2.12 Potencia de freno nominal**

Es la potencia requerida por la bomba a condiciones de operación nominales especificadas, incluyendo capacidad, presiones, temperatura, densidad absoluta y viscosidad.

### **2.13 Riesgo**

Medida de pérdidas económicas, daño ambiental o lesiones humanas, en términos de la probabilidad de ocurrencia de un accidente (frecuencia) y magnitud de las pérdidas, daño al ambiente o de las lesiones (consecuencias).

### **2.14 Sistema de alivio de presión**

Arreglo de un dispositivo de alivio de presión, tubería y medios de disposición concebidos para la recolección, transporte y disposición segura de alivios. Tal sistema puede estar formado por un simple dispositivo de alivio de presión con o sin tubería de descarga ubicada en un recipiente o línea; sistemas más complejos incluyen varios dispositivos de alivio de presión que descargan a un cabezal común y terminan en un equipo de disposición.

### **2.15 Sobrepresión**

Aumento de presión por encima de la presión de ajuste del dispositivo de alivio de presión y se expresa en unidades de presión o como porcentaje de presión. La sobrepresión resulta de un desequilibrio en el balance normal de flujos y energía, lo que crea una condición de emergencia para los

equipos de procesos y el personal de la planta. En el dimensionamiento de válvulas de alivio, la norma API 520 recomienda para todas las contingencias un porcentaje de sobrepresión del 10% de la presión de ajuste, a excepción del caso fuego en el que se toma el 21% de la misma. En el caso de arreglos de válvulas múltiples se toma una el 16% de la presión de ajuste.

### **2.16 Temperatura de alivio**

La temperatura del fluido a la condición de alivio, puede ser mayor o menor a la temperatura de operación normal. Para gases, esta temperatura es función directa de la presión de alivio y puede determinarse aplicando la ley de los gases asumiendo volumen constante. Para fluidos incompresibles (líquidos) generalmente la temperatura de alivio corresponde a la temperatura de operación del fluido.

### **2.17 Válvula de alivio (PR)**

La válvula de alivio de presión con resorte funciona por la presión estática aguas arriba de la válvula. Normalmente, se abre en proporción al aumento de presión por encima de la presión de apertura. Se utiliza principalmente con fluidos incompresibles. (Ver figura 2.3)



**Figura 2.3 Diversidad de válvulas de seguridad en el mercado**

### **2.18 Válvula de seguridad**

Válvula de alivio de presión con resorte, que funciona por la presión estática aguas arriba de la válvula, y se caracteriza por abrir rápidamente. Normalmente se utiliza con fluidos compresibles.

### **2.19 Válvula de alivio de seguridad**

Válvula de alivio de presión con resorte, que puede ser utilizada como válvula de seguridad o como válvula de alivio, dependiendo de su aplicación.

### **2.20 Válvula de alivio de vacío**

Dispositivo de alivio de vacío diseñado para admitir un fluido y prevenir un excesivo vacío interno; estos dispositivos están diseñados para cerrar y prevenir la salida de fluidos después que la condición normal ha sido restablecida.

## **2.21 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. (Norma PDVSA #90616.1.022, 1990)

### **2.22 Contingencias**

Para los cálculos de carga de alivio, no se debe considerar doble contingencia a menos que una contingencia sea consecuencia directa de la otra. A continuación se muestra unos criterios a considerar para el estudio de las contingencias:

- 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.

Una contingencia, es un evento anormal que origina una condición de emergencia. 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. (PDVSA MDP-08-SA-02, 1997)

Las contingencias que involucran un solo equipo o sistema de intercambio de calor son:

- Salida bloqueada
- Ruptura de tubos de intercambiadores
- Falla de control automático (válvula abierta totalmente)

Entre las contingencias que involucran uno o varios equipos o sistemas se tienen:

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

A continuación se describen algunas contingencias:

#### **a) 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.

### **b) 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.

### **c) 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. (PDVSA MDP-08-SA-02, 1997)

#### **d) Salida bloqueada**

Para proteger un recipiente cuando todas las salidas del mismo o del sistema están bloqueadas, la capacidad del dispositivo de alivio debe ser tan grande como la capacidad de las fuentes de presión. Si todas las salidas no son bloqueadas, la capacidad de salida puede ser considerada. Las fuentes de sobrepresión incluyen bombas, compresores, cabezales de alta presión, gases despojados de un absorbente rico, y calor de procesos.

La cantidad de material a ser aliviado debería ser determinado a las condiciones que corresponden a la presión de ajuste más la sobrepresión en vez de en condiciones normales de operación. A menudo se reduce la capacidad requerida por la válvula cuando esta diferencia de condiciones es considerada.

Los recipientes deben ser evaluados basándose en la posibilidad de que la corriente de salida quede bloqueada por cualquier tipo de válvula dispuesta aguas abajo, y en caso verificar que la alimentación continúe entrando y sea capaz de aliviar la presión del recipiente por encima de su presión de trabajo máxima permisible.

### **2.23 Contrapresión**

Es la presión existente en el cabezal de descarga la cual alivia a un dispositivo de alivio de presión. Es la suma de las contrapresiones superimpuesta y acumulada que a continuación se describen:



**a) 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.

**b) 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. (PDVSA 90616.1.022, 1990)

**2.24 Golpeteo en las válvulas de seguridad**

Se conoce como golpeteo a 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 largo puede resultar en fallas mecánicas de las partes internas de la válvula o de los 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: (PDVSA MDP-08-SA-03, 1997)

### **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 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.

### **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 de 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 reasiento 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) Contrapresión excesiva 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 diseñados 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%.

## **2.25 Tipos de válvulas de seguridad**

Existen tres tipos de válvulas de seguridad, las cuales son: convencionales, de fuelle balanceado y operadas por piloto. A continuación se detallan cada una de ellas: (API 520, 2008)

### **a) Válvulas de seguridad convencionales**

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. En la figura 2.4 se muestra el efecto de la contrapresión.

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. 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. (Observar figura 2.5).

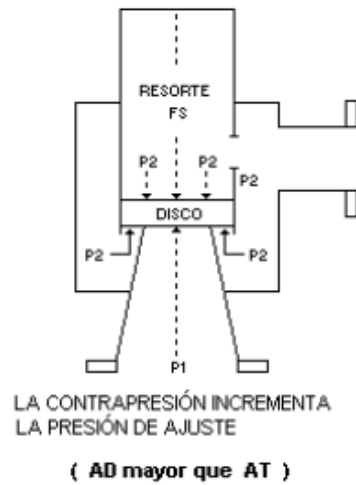
#### **b) Válvulas de seguridad balanceadas**

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

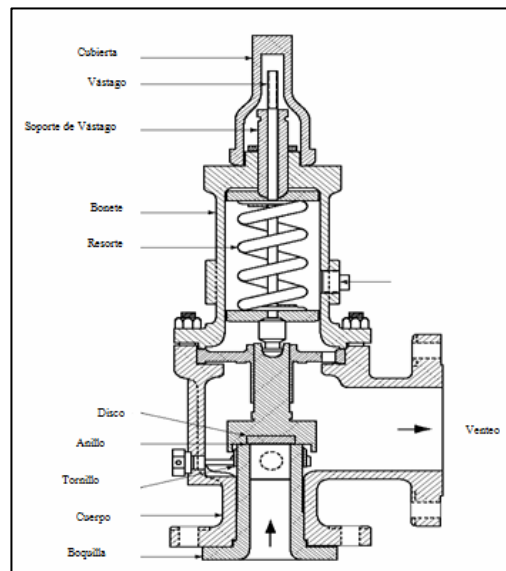
En las válvulas balanceadas tipo fuelle, el área efectiva del fuelle AF es la misma que el área del asiento de la tobera AT, y por estar unido al cuerpo de la válvula, excluye la acción de la contrapresión sobre el lado superior del disco. La fuerza de cierre ejercida por la contrapresión sobre el tope 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. (Ver figura 2.6).

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

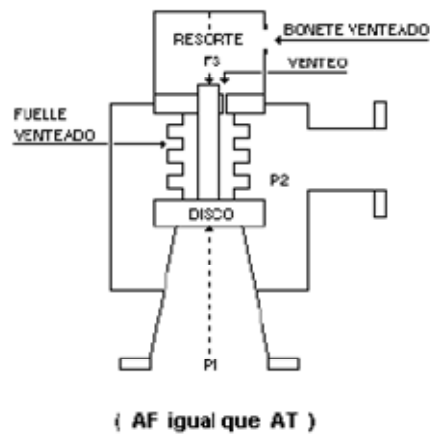
las limitaciones de resistencia mecánica de diseño de partes tales como la brida de salida, fuelles y bonete de la válvula.



**Figura 2.4 Efecto de la contrapresión en la válvula de seguridad tipo convencional. (API 520, 2008)**



**Figura 2.5 Válvula de alivio convencional de resorte comprimido sin fuelle. (API 520, 2008)**



**Figura 2.6 Efecto de la contrapresión en la válvula de seguridad tipo balanceada (API 520,2008)**

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. (Ver figura 2.7)

### c) Válvula de alivio de presión operada por piloto

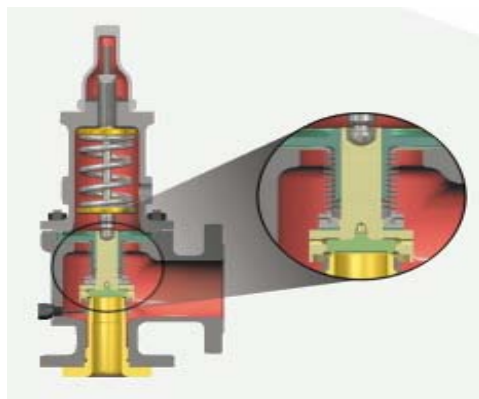
Es la que tiene el dispositivo principal de flujo combinado y controlado por una válvula de alivio de presión auxiliar auto-accionada. Este tipo de válvula no utiliza una fuente externa de energía. La presión del proceso en lugar de un resorte es utilizada para mantener el disco del asiento cerrado a presiones inferiores de relevo. Este arreglo “tipo correa” permite presiones de alivio mucho mayores con orificios más grandes de la que podría obtenerse con válvulas convencionales o balanceadas debido a las mayores fuerzas de resorte requerida en estos dos últimos tipos de válvulas. (Ver figura 2.8).

## 2.26 Características de operación de válvulas de alivio y seguridad

### a) Válvula convencional

- **Funcionamiento**

Cuando la presión del proceso alcanza el nivel de la presión de disparo, la fuerza actuando hacia arriba vence a la fuerza que el resorte ejerce hacia abajo; el gas o líquido comienza a fugarse por el asiento y cuando estas fugas llegan a un cierto punto generan entonces una fuerza adicional en la recámara de levante. El cierre ocurre cuando la fuerza del resorte vence a la fuerza decreciente que ejerce la presión del fluido o proceso sobre el área de asiento de la válvula.



**Figura 2.7 Válvula de alivio de presión de resorte balanceado**



**Figura 2.8 Válvula de alivio de presión operada por piloto**

- **Ventajas**

- Bajo costo en el rango de tamaños pequeños y presiones bajas
- Amplia gama de compatibilidad química.
- Buena resistencia a temperaturas altas.

- **Desventajas**

- El sello metálico no es muy efectivo cuando la presión sube un 90% de la presión de disparo.
- Para poder lograr un disparo “adecuado” se necesita ajustar el “anillo de desfoque” corto. Entre más rápida es la apertura que se logra, más duración tiene la descarga y entre más corta la descarga, más lenta la acción de apertura o disparo.
- Las válvulas de acción directa de resorte son más fácilmente afectadas por las condiciones que puedan causar golpeteo o resonancia. El golpeteo reduce la capacidad efectiva de descarga de la válvula.

- **Algunas causas de golpeteo**

- Un exceso de contrapresión en la descarga de la válvula.
- Cuando el porcentaje de pérdidas por fricción hasta la entrada de la válvula es mayor que el porcentaje de descarga.
- Cuando la frecuencia natural de la tubería coincide con la frecuencia natural de la válvula; al dispararse, la válvula entra en resonancia.



## **b) Válvula balanceada**

- **Funcionamiento**

Una válvula balanceada es similar a una válvula convencional, a excepción de que el área aguas abajo del disco del asiento está dentro de la barrera de presión protectora para escudarla de la contrapresión. Al aumentar la sobrepresión a la entrada de la válvula, la pérdida de levantamiento disminuye. Al aumentar la presión de alivio de la válvula tolerará una mayor contrapresión antes de comenzar a disminuir el levantamiento (Prácticas de Diseño PDVSA)

## **c) Válvula tipo piloto**

- **Funcionamiento**

El pistón, más sensible a los cambios de presión, abre cuando la presión alcanza el límite predeterminado y deja escapar la presión de la recámara permitiendo así que el pistón o diafragma se levanten, abriendo la válvula principal. El piloto cierra al bajar la presión del nivel preestablecido y permite que la recámara vuelva a tomar presión, cerrando el pistón o diafragma.

- **Ventajas**

- El sello es hermético hasta llegar a la presión de disparo; por lo tanto, no se puede operar hasta muy cerca de la presión de disparo. Mientras más aumente la presión mayor la fuerza de cierre sobre el sello.
- Es muy fácil hacer el ajuste de la presión de apertura y de cierre.

- Se puede lograr una descarga corta.
- Disponibles con disparo instantáneo o bien con acción moduladora.
- Fácil mantenimiento con gran estandarización de partes.
- Flexibilidad.

- **Desventajas**

- No deben ser utilizadas con fluidos polimerizables o con líquidos muy viscosos.
- La compatibilidad química de la válvula está limitada por las características de los materiales de que está hecho el sello.

## **2.27 Instalación de válvulas múltiples de alivio de presión**

En ciertos casos es necesario instalar dos o más válvulas de alivio de presión en paralelo para un solo servicio.

- **Grandes alivios**

La magnitud de algunos alivios grandes puede ser mayor que la capacidad de la válvula de alivio de presión más grande que está disponible comercialmente, necesitándose el uso de dos o más válvulas aun cuando esté disponible una válvula sencilla de alivio de presión, debe considerarse el costo relativo de válvulas múltiples. Por encima de un cierto tamaño (típicamente 200 x 250 mm ó 8 x 20 pulg), las condiciones de ingeniería estructural, de tubería, las de válvulas y líneas de gran tamaño pueden resultar en un costo instalado mucho menor para dos válvulas de alivio de presión más pequeña. Cuando se instalan dos o más válvulas de alivio de

presión deben especificarse con puntos de ajuste escalonados, a fin de minimizar el golpeteo a bajos caudales de alivio. (Norma API 520, 2008)

- **Localización de válvulas de alivio de presión**

Una válvula de alivio de presión es normalmente instalada en o cerca del recipiente que protege. Sin embargo, si los códigos locales no lo prohíben está permitido montar las válvulas de alivio de presión sobre la tubería del proceso conectada al recipiente, con tal que la vía de alivio desde el recipiente a la válvulas de alivio de presión esté libre de obstrucciones y que no se exceda la caída de presión permitida. Sobre la misma base también está permitido proteger uno o más recipientes que estén conectados por tuberías por una sola válvula de alivio de presión (o grupo de válvulas de alivio de presión) montada sobre uno de los recipientes o sobre la tubería de interconexión con tal que:

- La vía de alivio de presión entre cualquier recipiente y la válvula de alivio de presión que lo protege debe satisfacer los requerimientos. La caída de presión entre el recipiente o tubería sobre la cual está montada la válvula de alivio de presión no debe exceder el valor máximo permitido.
- Cuando una válvula de alivio de presión se usa en un fraccionador para proteger un tambor de destilado con una entrada sumergida, la válvula de alivio de presión debe estar localizada en la columna misma y no en la tubería de salida del tope o debe descargar a un sistema cerrado. Esto es con el fin de evitar un alivio de líquido en el caso de que la válvula de alivio de presión descargue bajo condiciones de un incendio en el tambor de destilado (PDVSA MDP-08-SA-05, 1997)

## **2.28 Principales causas de sobrepresión**

Las tasas de líquido o vapor usadas para establecer los requerimientos de alivio son desarrolladas por la energía neta de entrada. Las dos formas más comunes de energía son el calor de entrada, que aumenta la presión por la vaporización o la expansión térmica, y la presión de entrada desde fuentes de alta presión. La sobrepresión puede ser resultado de una o ambas de estas formas. (PDVSA MDP- 08-SA-02, 1997)

- **Efectos de presión, temperatura y composición**

La presión y temperatura deben ser consideradas para la determinación individual de la tasa de alivio de presión, ya que afectan el volumen y composición procedente de líquidos y vapores. El vapor es generado cuando el calor es adicionado a un líquido, generando un aumento de presión en un espacio confinado. En muchos casos el volumen del líquido puede ser una mezcla de varios componentes con diferentes puntos de ebullición. El calor introducido a un fluido que no alcanza la temperatura crítica bajo las condiciones de alivio, produce un vapor que es rico en componentes con bajo punto de ebullición. Como el calor a la entrada es continuo se generan componentes más pesados en el vapor. Finalmente, sí el calor a la entrada es suficiente, los componentes pesados se vaporizan. Durante los alivios de presión, los cambios en la tasa de vapor y el peso molecular a diferentes intervalos de tiempo deben ser investigados, para determinar la capacidad a aliviar y la composición de vapor. (Norma API 521, 2008)

### **2.29 Dimensionamiento del cabezal del mechorrio**

Para determinar el tamaño del cabezal principal y líneas, los cálculos de caída de presión deben hacerse desde la boquilla del mechorrio 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.

### **2.30 Dimensionamiento de líneas de alivio**

Después de establecer los requerimientos de alivio, se diseña 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 de tal forma que cualquier carga excesiva debida a expansión térmica ó contracción, y fuerza de reacción, pueda ser manejada.

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. (Practicas de Diseño PDVSA, 1981)

### **2.31 Dimensionamiento del tamaño de cabezales de alivio**

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. 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. 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. (Prácticas de Diseño PDVSA, 1981)

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. Se realizan 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.

### **2.32 Mal funcionamiento de las válvulas de seguridad**

Con el paso de los años, los diseñadores de válvulas han acopiado mucha información de los síntomas y causas de las fallas comunes de las válvulas, tales como: fugas, traqueteo y disparo prematuro. (William A, 1981)

### **a) Fugas o escurrimiento**

A continuación se presentan una serie de recomendaciones y prácticas cuyo cumplimiento disminuirán la presencia de fugas.

- **Comprobar la presión de funcionamiento**

Una causa de las fugas por las válvulas de desahogo de seguridad es el esfuerzo por maximizar la eficiencia del proceso. Las presiones de funcionamiento pueden aumentar hasta que son casi iguales a la graduación de la válvula o a la presión máxima permisible de funcionamiento del recipiente. Este método reduce los costos al no tener que invertir en recipientes para presiones más altas. Pero las fugas por la válvula pueden indicar que la presión normal de funcionamiento ya se ha aproximado a la de graduación. Por otra parte la válvula pudiera estar graduada muy baja, por error.

- **Comprobar si hay corrosión o erosión**

En cierta ocasión, las fugas en una planta ocurrieron por un pequeñísimo cambio en el proceso, en el cual se utilizaba inicialmente cloruro de hidrogeno seco para el cual eran satisfactorias las guarniciones de acero inoxidable. Más tarde, la humedad agregada lo convirtió en ácido clorhídrico (HCl), muy corrosivo, que produjo la corrosión de las guarniciones. La solución fue emplear una válvula con guarniciones de monel.

La erosión también puede permitir fugas. La arena en las tuberías para gas a alta presión erosiona los asientos y discos de materiales blandos (como el acero inoxidable) por un efecto de chorro de arena cuando funciona la válvula de desahogo de seguridad. Los asientos de materiales duros, como stellite, pueden resistir la erosión.

- **Comprobar las tolerancias para disparo**

Cuando la presión de funcionamiento es bastante elevada, un borboteo de presión puede levantar el disco y permitir fugas. Hay que comprobar si la tolerancia para la presión de disparo esta en el lado bajo de la gama permitida. Una causa común de fugas es la compensación incorrecta de la graduación del resorte para aplicaciones con altas temperaturas, cuando el resorte se gradúa en frío en el banco de pruebas. La corrección consiste en consultar el factor para corrección de temperatura del fabricante y utilizarlo para graduar la válvula con aire a la temperatura ambiente. (William A, 1981)

- **Descartar la presencia de partículas de sólidos entre el asiento y el disco**

En cierta ocasión una instalación de bombeo con válvulas de desahogo de seguridad, el fluido arrastraba cloruro de polivinilo (PVC) en polvo. Estas partículas eran lo bastante duras cuando quedaban atrapadas entre el asiento y el disco de acero inoxidable para rayar el asiento y permitir fugas. Cuando las partículas son muy pequeñas, pueden entrar en las guías de ajuste muy preciso y trabaran la válvula en la posición abierta o cerrada.



- **Detectar la ausencia de soportes en la tubería de salida**

Una válvula de desahogo de seguridad de 6, 8 o 10 pulgadas puede parecer muy fuerte, pero la tubería de salida sin soportar puede alterar la alineación interna y ocasionar fugas.

- **Comprobar si hay esfuerzos térmicos en la tubería de salida**

Los esfuerzos térmicos pueden alterar también la alineación de los componentes internos de la válvula de desahogo y permitir fugas.

- **Comprobar si la presión de funcionamiento del sistema es cercana a la presión de graduación de la válvula**

Cuando la presión de funcionamiento del sistema es casi igual que la de graduación de la válvula, la vibración puede ocasionar fugas y disparo prematuro de la válvula. Las correcciones de las fugas son el empleo de los métodos usuales para reducir la vibración de la tubería, el recipiente y aumentar la diferencia entre las presiones de funcionamiento y la graduada. Un asiento con sellos anulares elásticos también puede ayudar.

- **Comprobar si la válvula está instalada en forma vertical**

Otra causa de fugas es la instalación de la válvula de desahogo fuera de la vertical, quizá por las limitaciones del espacio o la configuración de la tubería. El montaje fuera de la vertical puede ocasionar acumulación de sedimentos y formación de depósitos por un drenaje deficiente. El montaje vertical asegura que el vástago o su reten en las válvulas con guía superior

estarán centrados en las guías y que el asiento y el disco estarán alineados y paralelos. Si están fuera de la vertical, las guarniciones se pueden mover hacia un lado de las guías.

- **Comprobar si la válvula de seguridad ha sido bien armada después de una reparación o mantenimiento.**

Puede parecer que una válvula está trabada o pegada abierta, cuando en realidad está mal ajustada, para permitir una purga de larga duración. Esto es lo que puede ocurrir si se la arma en forma incorrecta después del mantenimiento o reparación. Hay que tener mucho cuidado si la válvula tiene una palanca de elevación. Esto da más oportunidades de armar en forma incorrecta lo cual permitirá fugas o, lo que es peor, que no funcione. Cuando hay fugas, la palanca de elevación puede estar manteniendo el disco separado de su asiento debido a la colocación incorrecta de la tuerca para prueba en el vástago.

- **Comprobar el pulimento correcto de los asientos**

Si se han pulido con pasta abrasiva el asiento y el disco durante el reacondicionamiento y la válvula tiene fugas, la causa puede ser el asentamiento incorrecto. La igualdad de la superficie, una textura fina y el pulimento de los asientos metálicos son esenciales para la hermeticidad.

- **Determinar la naturaleza de los fluidos del proceso**

Cuando se trata de fluidos ligeros, difíciles de retener, como el hidrogeno, pueden ocurrir fugas si los asientos son de metal con metal.

La corrección consiste en emplear válvulas con asiento con sellos anulares elásticos para tener hermeticidad, o bien, especificar válvulas con cierre mas hermético.

- **Verificar si hubo errores u omisiones durante las pruebas**

Aunque la válvula haya sido probada en la fabrica antes de embarcarla, se debe probar otra vez antes de instalarla; nunca se deben instalar tal como se reciben. La vibración o el manejo brusco durante el transporte pueden producir desalineación.

La omisión del mantenimiento periódico de las válvulas de seguridad también permitirá fugas. El usuario debe tener un programa de pruebas, cuando menos una vez al año para instalaciones con servicio normal. Si se manejan materiales corrosivos o tóxicos, las pruebas deben ser mas frecuentes.

## **b) Traqueteo**

- **Comprobar si la válvula es de tamaño muy grande**

Una causa común de traqueteo es el tamaño muy grande de la válvula de desahogo de seguridad. Si el volumen de fluido es menor del 15% de la capacidad nominal, habrá tendencia al traqueteo.

A la presión de disparo, no habrá suficiente energía en el recipiente para contrarrestar la carga del resorte y levantar por completo el disco de su asiento; esta falta de fuerza elevadora ocasiona oscilaciones.

- **Comprobar si hay caída excesiva de presión en la tubería hasta la entrada de la válvula**

Una caída excesiva de presión puede ocasionar traqueteo. Las pérdidas en la entrada son más importantes, en particular cuando el diámetro del orificio es grande en comparación con el tamaño de la tubería de entrada. La caída de presión se puede atribuir a restricciones en el flujo debidas a: dobleces y codos, una distancia excesiva desde la fuente de presión hasta la válvula y la tubería de entrada o salida de menor diámetro que el de la válvula de desahogo. En todos estos casos, la caída excesiva de presión ocasiona elevación insuficiente del disco desde su asiento.

- **Comprobar si hay variaciones en la presión**

Las variaciones en la presión pueden actuar en la descarga o en la entrada de la válvula de seguridad y ocasionar traqueteo, lo mismo que la contrapresión variable o las ondas de choque en un cabezal común de descarga.

Cuando el tamaño correcto de la tubería no puede corregir el traqueteo, quizá se logre con una válvula de desahogo de seguridad especial. Por ejemplo, se puede necesitar un tipo con fuelle equilibrado para controlar la contrapresión variable.

- **Comprobar si la válvula se utiliza como regulador**

En ocasiones, alguien intenta regular el caudal con una válvula de desahogo con carga de resorte en lugar de hacerlo con un regulador o una válvula de control.

**c) Disparo prematuro**

- **No se deben efectuar ajustes internos cuando hay presión debajo del disco de la válvula**

El disparo prematuro puede ocurrir cuando se hacen ajustes internos, como subir o bajar el disco de purga, cuando la presión debajo del disco es casi la presión graduada. Los ajustes se deben hacer cuando no hay presión debajo del disco o, si debe haberla, hay que sujetar con suavidad la válvula para que no dispare.

- **Corregir la temperatura al graduar en frío**

Cuando se gradúa la válvula a la temperatura ambiente pero se utiliza en servicio de alta temperatura, la dilatación del bonete y el cuerpo combinada con la reducción en la carga del resorte, ocasionada por la alta temperatura, hacen que se reduzca la presión graduada y se tenga disparo prematuro.

- **No se debe golpear el cuerpo de la válvula de seguridad ni colocar tapones para detener las fugas**

Cuando la presión esta cercana a la del punto de graduación, puede ocasionar disparo prematuro. Lo mismo ocurre con la vibración de la tubería o del recipiente.

- **Comprobar si hay manómetros inexactos**

Si el manómetro utilizado para graduar la válvula tiene lectura baja, por daños o desgaste, habrá disparo prematuro. Si tiene lectura alta, la presión puede ser mayor que los limites del recipiente. (William A, 1981)

### **2.33 Simuladores**

Los programas de simulación son una herramienta de gran utilidad para los ingenieros de procesos y de diseño de las industrias químicas, petroleras y de gas natural. En este programa se combina la fuente de datos de una extensa librería de componentes químicos y de métodos de predicción de propiedades termodinámicas, con el propósito de ofrecer la facilidad de elaborar un modelo matemático verdaderamente representativo de la respuesta del proceso a determinadas condiciones de operación.

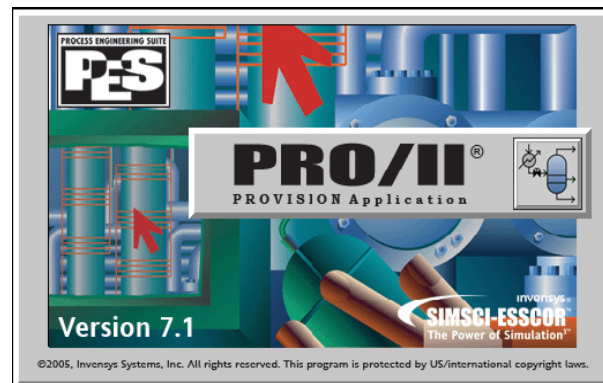
Dicho modelo está basado en ecuaciones teóricas y/o empíricas, que en la mayoría de los casos resultan demasiado tediosas de resolver manualmente, lo que constituye la gran utilidad de los programas de simulación. Contienen las ecuaciones generalmente más aceptadas para la representación de equipos, pudiendo agilizar la solución del problema y proporcionar cierto nivel de detalle, de acuerdo al objetivo de trabajo.

### 2.33.1 Simulador de procesos Pro/II

Es un programa de simulación de procesos de fácil comprensión que opera bajo ambiente de Windows combinando todas las herramientas fuertes para simulaciones familiarizadas con la ingeniería de procesos. El programa incluye una amplia variedad de componentes en la librería y los métodos termodinámicos de predicción de propiedades con las más avanzadas y flexibles técnicas de cálculos de operaciones unitarias, para proporcionar al ingeniero de proceso las facilidades computarizadas de cálculos referentes a balances de masa y energía necesarios para modelar muchos de los procesos en estado estacionario. Pro/II es capaz de modelar desde sencillas hasta complejas columnas de destilación. En la figura 2.9 se observa la presentación del simulador. (Manual Pro/II, 2007).

Pro/II utiliza una clave de colores para informar al usuario del estado de la simulación. Los colores utilizados indican:

1. Si hace falta o no, datos en las operaciones, corrientes y en todos los parámetros de la simulación.
2. El estado de la simulación en el tiempo real de cada una de las operaciones unitarias.



**Figura 2.9 Presentación del programa de simulación Pro/II**

El significado de los colores que se pueden encontrar mientras se trabaja con Pro/II se resume abajo:

**Tabla 2.1 Significado de los colores mientras se suministran datos a la simulación**

Color	Significado
Rojo	Se requieren datos.
Verde	Datos predeterminados.
Azul	Datos que se han suministrado o modificado.
Amarillo	Datos dudosos: los datos suministrados se encuentran fuera del rango normal.
Gris	El campo de datos no está disponible para el usuario.
Negro	El suministro de datos es opcional.



**Tabla 2.2 Significado de los colores mientras se ejecuta una corrida en Pro/II**

Color	Significado
Rojo	La operación no se pudo resolver.
Verde	La operación está en proceso de ser resuelta.
Azul	La operación se resolvió satisfactoriamente.

### 2.33.1.1 Métodos termodinámicos

Los modelos de simulación son sumamente importantes para el diseño y entendimiento de las plantas industriales de procesos químicos.

Estos diseños requieren de la predicción del comportamiento en el equilibrio de una mezcla líquido-vapor el cual depende principalmente de la naturaleza de las especies químicas que constituyen la mezcla y de las condiciones de operación de la unidad en estudio.

Los modelos termodinámicos predicen el comportamiento en el equilibrio de una mezcla líquido-vapor, sin embargo, en las unidades de crudo, la exactitud de los resultados depende mucho más de la caracterización de la corriente que del método termodinámico utilizado.

Los métodos termodinámicos de mayor aplicación son:

- Soave-Redlich-Kwong (SRK).
- Peng-Robinson (PR).

- Grayson-Streed (GS).
- Braun  $K_{10}$ .

Modelos basados en coeficientes de actividad de líquidos.

- NRTL.
- UNIQUAC.
- Van Laar.
- Wilson.
- UNIFAC.

A continuación se presenta la descripción del método termodinámico utilizado en las simulaciones.

- **Soave-Redlich-Kwong (SRK) y Peng-Robinson (PR)**

Son modificaciones de la ecuación de estado Redlich-Kwong (RK). Estas ecuaciones son adecuadas para simular hidrocarburos livianos no polares, hidrocarburos pesados (desde  $C_5$ ),  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2S$  (sobre 25% mol),  $N_2$  e  $H_2$  en hidrocarburos livianos. (Manual Pro/II, 2007)

SRK y PR dan excelentes resultados de 0 a 5.000 psi y en un extenso rango de temperaturas, desde 460°F hasta 1.200°F. Ninguno de los dos modelos predice adecuadamente la densidad del líquido a cualquier temperatura, pues las desviaciones calculadas son de 10% a 20% menores que los valores reales.

Aplicaciones típicas en las cuales estos modelos reportan mejores resultados:

- Desmetanizadores.
- Desbutanizadores.
- Separadores etano-etileno, propano-propileno.
- Absorbedores de cola liviana.

### **2.34 Simulador Visual Flow**

Visual Flow, es un programa de simulación que incluye dos programas Visual Flare y Visual Network usados en la producción de petróleo / gas de las refinerías, plantas químicas y las instalaciones de generación de energía. Visual Flare está diseñado para cálculos hidráulicos de sistemas de alivio mientras que Visual Network realiza los cálculos hidráulicos en sistemas como el agua de refrigeración o redes de distribución de vapor.

Últimamente, el número de accidentes relacionados con la liberación de sustancias peligrosas en el aire circundante, la tierra y el agua ha aumentado de forma alarmante. Los principales incidentes que causan pérdida de vidas humanas y daños irreparables al medio ambiente, han centrado la atención mundial en el adecuado diseño, mantenimiento y operación de sistemas de alivio de presión.

Además, nuevos reglamentos han sido adoptados en muchos países como es el de definir los requisitos mínimos para el diseño y operación de sistemas de seguridad. Visual Flare ha sido diseñado específicamente para abordar estas necesidades.

También es importante mencionar que actualmente, los ingenieros se enfrentan a una tarea sumamente difícil y es, tratar de comprender las complejas operaciones de la planta de las que son responsables y es

necesario que estos profesionales aprendan a utilizar de manera rápida y adecuada las herramientas de simulación avanzadas. Visual Network es una herramienta de simulación diseñada para ayudar la productividad de ingeniería, modelo de planta y los sistemas de tuberías. En la figura 2.10 se visualiza la presentación del programa. (Manual Visual Flow)

### **2.35. Explorador de procesos (Aspen Process Explorer)**

Es una herramienta de procesos para el análisis y reporte de datos de un proceso. Este explorador de procesos usa Microsoft OLE (Object Linking and Embedding), OXC (OLE Controller objects), y Activex como tecnología para integrar estas herramientas.

El explorador de procesos guarda información desde las siguientes bases de datos:

- CIM-21.
- Infoplus-21.
- Infoplus-X.
- Setcim.

La combinación de las siguientes funciones hace al explorador de procesos una potente herramienta para visualizar y analizar los datos del proceso como se muestra en la figura 2.11.

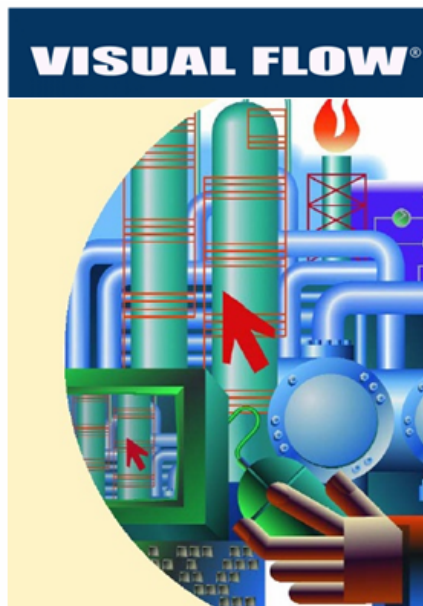


Figura 2.10 Presentación del programa visual flow

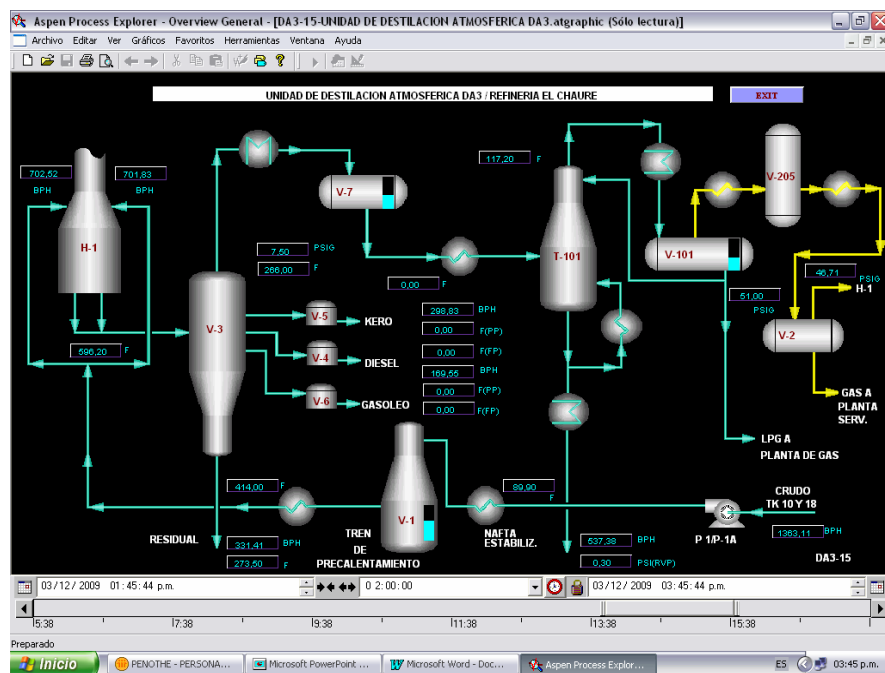


Figura 2.11 Pantalla de presentación grafica del explorador de procesos

### **2.35.1 Tendencia**

Esta herramienta permite al usuario realizar gráficas de los valores de las variables que son reportadas por la instrumentación del proceso tanto para un tiempo real de información o datos históricos que son almacenados en una base de datos, es decir, graficar los valores de las variables del proceso en función del tiempo. Estas gráficas pueden ser guardadas, lo que permite al usuario realizar modificaciones en gráficos que ya han sido realizados. Los valores de las distintas variables del proceso se pueden graficar en distintas formas, que son seleccionadas por el usuario, de manera que puedan facilitar el análisis de la tendencia de las distintas variables del proceso.

### **2.35.2 Leyenda**

Esta herramienta permite al usuario crear un listado de los diferentes códigos de identificación (Tag) de las variables que son reportadas en la base de datos del proceso, para el control automático de la planta. Este listado facilita al usuario analizar la tendencia de una variable o múltiples variables operacionales para cualquier rango de tiempo en una misma ventana.

### **2.35.3 Control del tiempo**

Esta herramienta permite al usuario especificar el rango de tiempo para el cual desea realizar la tendencia de las variables del proceso a estudiar.

### **2.36 Sistema de laboratorio**

Es un programa en el cual se reportan los análisis de laboratorio que a diario se llevan a cabo en la refinería Puerto La Cruz, con respecto a los diferentes productos y corrientes de interés. El sistema de laboratorio reporta: cálculo de GAP, certificado de calidad, calidades promedios diarios, resultados de laboratorio, historia de guías operacionales, sumario diarios de calidades y análisis de productos fuera de especificación entre otras. Cada planta tiene un código para acceder a la información de las diferentes corrientes que conforman a la unidad. El laboratorio efectúa destilaciones D-86 a la gasolina, nafta y destilados, así como destilaciones D-1160 para el gasóleo pesado y el residual, además de otras propiedades como contenido de: H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, etc.

## **CAPITULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

Para la elaboración del proyecto se realizó un estudio a la planta verificando cada equipo en sitio, planos mecánicos, proceso, isométrico, tubería e instrumentación, revisión de datos operacionales en Aspen Process Explorer, ISP (Información de la seguridad de los procesos unidad DA-3) y entrevistas a operadores en consola con la finalidad de determinar las fallas que puedan producir sobrepresiones en los equipos y así plantear mejoras al sistema.

#### **3.1 Comparación de las condiciones actuales de operación con las establecidas por las normas**

Con los datos obtenidos en las visitas a plantas y características de las válvulas instaladas en cada equipo (tipo válvula, área, diámetro de la línea, tag, equipo al cual está instalada, lugar, producto de alivio, sitio de descarga, capacidad) se procede a detectar las desviaciones del sistema de alivio según la norma PDVSA, API 520,521. Ver anexo A tabla A.1

API 521 se refiere exclusivamente a metodología y consideraciones a emplear para determinar cargas de alivio, mientras que el API 520 se refiere a la selección, dimensionado e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías. Por otro lado las normas PDVSA proporcionan información sobre el diseño de los sistemas de alivio, dispositivos de alivio, contingencias y dimensionamiento de válvulas e instalación.

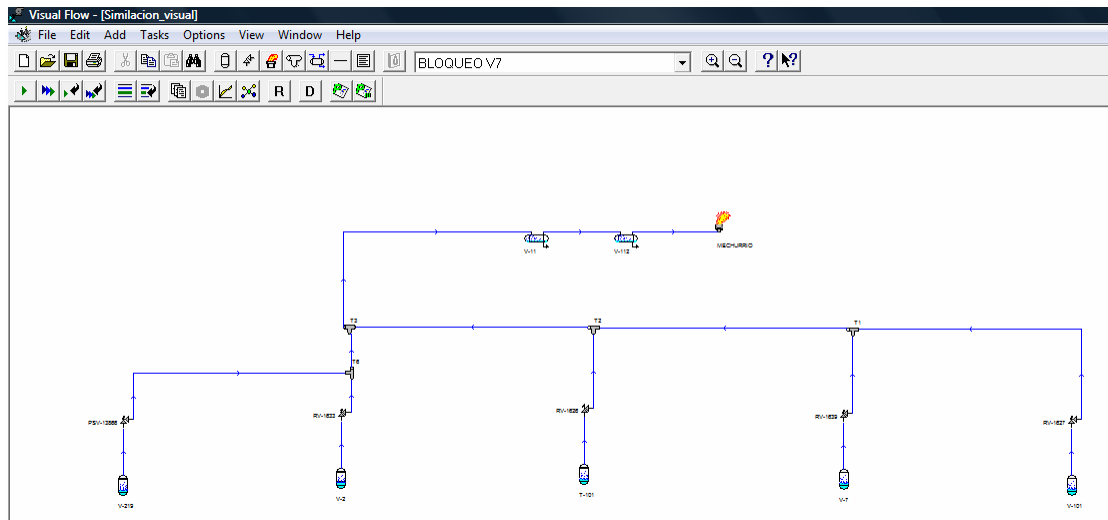


### **3.2 Detectar las posibles fallas en el sistema de alivio de la refinería El Chaure**

Con la ayuda del programa Pro/II se elabora el modelo de la simulación de todo el proceso de la unidad de destilación DA-3, utilizando los datos operacionales, obtenidos de la hoja de seguimiento de operación de la planta en Aspen, hoja de análisis de laboratorio; datos de diseño en “data Sheet”, planos mecánicos de equipos e ISP (Información de la Seguridad de los Procesos). Una vez montada la simulación y conociendo las fallas que generan contingencias, se procede a determinar las cargas, composición de alivio de cada equipo y datos para el dimensionamiento de las válvulas de alivio de los equipos que no están protegidos de sobrepresiones.

Una vez que se tiene la carga, composición y condiciones de alivio de cada equipo así como las características de las válvulas se realiza la simulación en Visual Flow del cabezal de alivio existente en planta, para obtener los cálculos hidráulicos (caídas de presiones, presencia de flujo sónico, contrapresión, área de la válvula requerida) verificando si el cabezal de alivio se encuentra dentro de la norma PDVSA, API 520 y 521. (Ver figura 3.1).

A continuación se visualiza todo el procedimiento de cálculo de cada equipo a sus condiciones de alivio, dependiendo de las contingencias que aplican y el dimensionamiento de las válvulas de aquellos equipos que se encuentran sin protección por sobrepresión.



**Figura 3.1 Simulación Visual Flow del cabezal de alivio actual.**

A continuación se presentan una serie de procedimientos de cálculos para determinar cargas de alivio, tomándose criterios establecidos en la norma API 521 y normas PDVSA.

### 3.2.1 Recipientes

Se consideran en este renglón todos los tambores de reflujó, tambores separadores flash, tambores de almacenamiento y filtros. Las contingencias estudiadas para estos recipientes son salida bloqueada y el caso fuego.

- **Salida bloqueada**

Los recipientes deben ser evaluados en base a la posibilidad de que la corriente de salida quede bloqueada por cualquier tipo de válvula dispuesta aguas abajo y en ese caso, verificar que la alimentación continúe entrando y

sea capaz de elevar la presión del recipiente por encima de su MAWP. Como ejemplo se muestra en la figura 3.2 el tambor separador V-7.

El flujo a aliviar corresponde al flujo máximo de vapor entrando al recipiente y para obtener las propiedades del fluido a aliviar se crea una simulación en Pro/II de la corriente de entrada al recipiente a las condición de alivio, la cual es presión de alivio y temperatura operación normal de dicha corriente. (Ver tabla 3.1 y figura 3.3).

De igual manera se realiza para los demás recipientes y los resultados se pueden observar en la tabla 4.1 del capítulo IV.

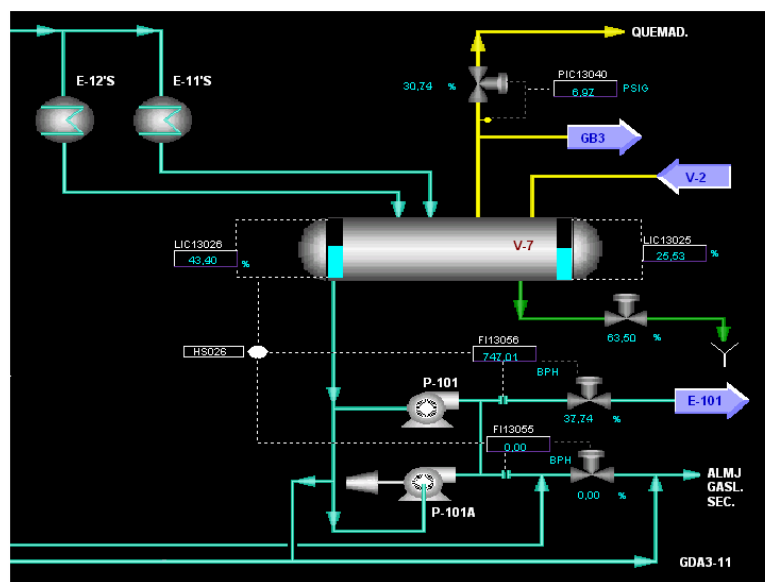


Figura 3.2 Tambor V-7 acumulador de gasolina no estabilizada.

**Tabla 3.1 Flujo de vapor entrada V-7**

<b>Vapor</b>		
<b>Flujo</b>	LB-MOL/HR	0,963285744
	LB/HR	46,88586044

**a) Fuego**

Para el estudio del caso fuego solo se evalúan aquellos equipos que contienen líquido y el procedimiento de cálculo se describe a continuación:

- **Recipientes que contienen líquidos**

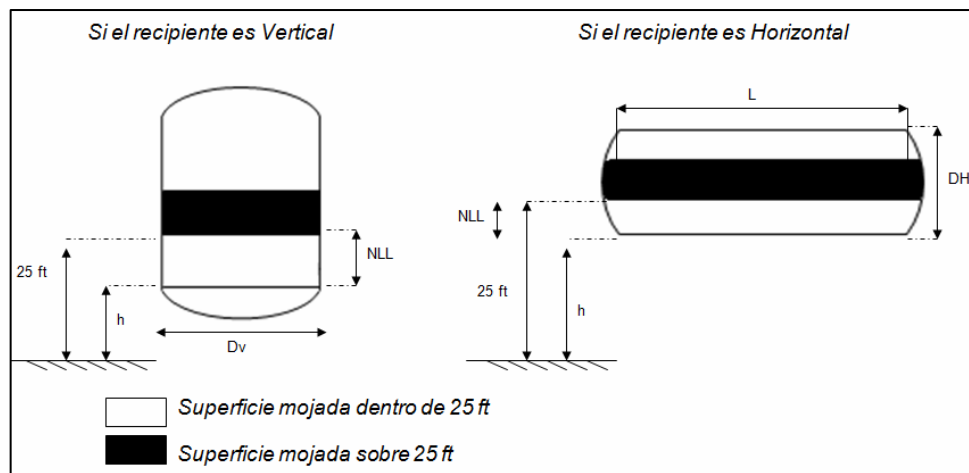
Si el recipiente contiene líquido entonces la sobrepresión se origina por la vaporización del líquido contenido por efecto de la transferencia de calor del fuego. El procedimiento va a depender de la orientación del recipiente para determinar el área mojada expuesta dentro de los 25 pie de altura.

- **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 3.4). 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.

GV7		
Stream Name		GV7
Temperature	F	101,600
Pressure	PSIG	24,200
ASTM D86 at 760 MM HG (LVF)		
IBP		-180,766
5%		-144,075
10%		-102,137
30%		-31,148
50%		21,764
70%		60,330
90%		131,134
95%		150,437
EBP		185,760
Total Std. API		125,797

**Figura 3.3. Simulación corriente de entrada V-7 y propiedades del fluido a aliviar.**



**Figura 3.4. Muestra la superficie mojada dentro de los 25 pie de los recipientes contemplado para caso fuego.**

Para determinar el área mojada, en caso de recipientes horizontales, se aplican las ecuaciones

$$A_{mojada} = \theta_{rad} \times D \times L \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$\theta = \text{Arc cos}\left(1 - \frac{2 \times neff}{D}\right) \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

$neff$ : nivel efectivo de líquido dentro de los 25 pie de altura expuesta al fuego, pie.

$\theta_{rad}$ : Angulo que depende del nivel del líquido dentro del intercambiador, adimensional.

$$\theta = \text{Arccos}\left(1 - \frac{2 \times 5,52}{8,08}\right) = 111,49$$

A la superficie resultante se le suma un 10% asociado a la superficie de los cabezales del recipiente expuesta al fuego.

En caso de recipientes verticales el área mojada se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$A_{mojada} = \pi \times D \times neff \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Luego que se tiene el área mojada se determina el factor ambiental con la ecuación

$$F = \frac{k_{\text{cond}} \times (1.160 - T_{\text{alivio}})}{21.000xt} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

El calor absorbido con la ecuación

$$Q_{\text{mojado}} = 21.000 \times F \times A_{\text{mojada}}^{0,82} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

$Q_{\text{mojado}}$ : calor absorbido por la superficie húmeda, Btu/h.

F: factor ambiental, adimensional.

Si el aislante no es resistente al fuego entonces  $F = 1$ .

$k_{\text{cond}}$ : conductividad térmica del aislante, (Btu.pulg/h.pie<sup>2</sup>.°F).

t: espesor del aislante, pulg.

$T_{\text{alivio}}$ : temperatura del recipiente a la condición de alivio, °F.

El cálculo del calor de vaporización se hace de la siguiente manera: en caso fuego todo lo que se alivia es lo que está en el fondo del recipiente en estado líquido por lo tanto se crean dos tambores flash ambos con la alimentación referenciada a la corriente de líquido que sale del tambor; luego en los tambores se coloca uno a punto de burbuja y el otro punto de rocío junto con la presión de alivio. Al tener las entalpías del vapor y el líquido resultantes del flash se restan y se obtiene el calor de vaporización. En la figura 3.5 se muestra un ejemplo del flash realizado en el simulador Pro/II.

$$\lambda = 306,86 - 74,91 = 231,95 \quad \text{BTU/lb}$$

Finalmente el flujo de alivio con la ecuación

$$W_{alivio} = \frac{Q}{\lambda} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

De igual manera se realiza para los demás equipos y los resultados se pueden observar en la tabla 4.3 del capítulo IV.

Para la realización de los cálculos con mayor rapidez, se elaboro una hoja de calculo en Excel con las formulas ya descritas anteriormente. En la figura 3.6 se puede visualizar la hoja de cálculo para el tambor V-7.

- **Zonas de incendio**

En lugar de sumar todas las cargas por fuego para obtener la carga total de vapor causada por un incendio, la planta se divide en áreas separadas o “zonas de incendio”. Las zonas de fuego tienen generalmente 230  $m^2$  (2.500  $pies^2$ ), pero pueden limitarse por diques o sistemas que eviten la extensión de un incendio.

La DA-3 se divide en 3 zonas de incendio las cuales son:

- **Zona 1:** tambores separadores V-7 y V-101
- **Zona 2:** torre estabilizadora de gasolina T-101.
- **Zona 3:** fraccionadora de crudo V-3, tambor pre – flash V-1.

Observar la figura 3.7 donde se visualiza en el plano de la planta las zonas expuestas a un incendio.



### **3.2.2 Torres de fraccionamiento**

Las contingencias críticas consideradas para la evaluación de las torres son: falla de agua de enfriamiento, pérdida del reflujo y fuego.

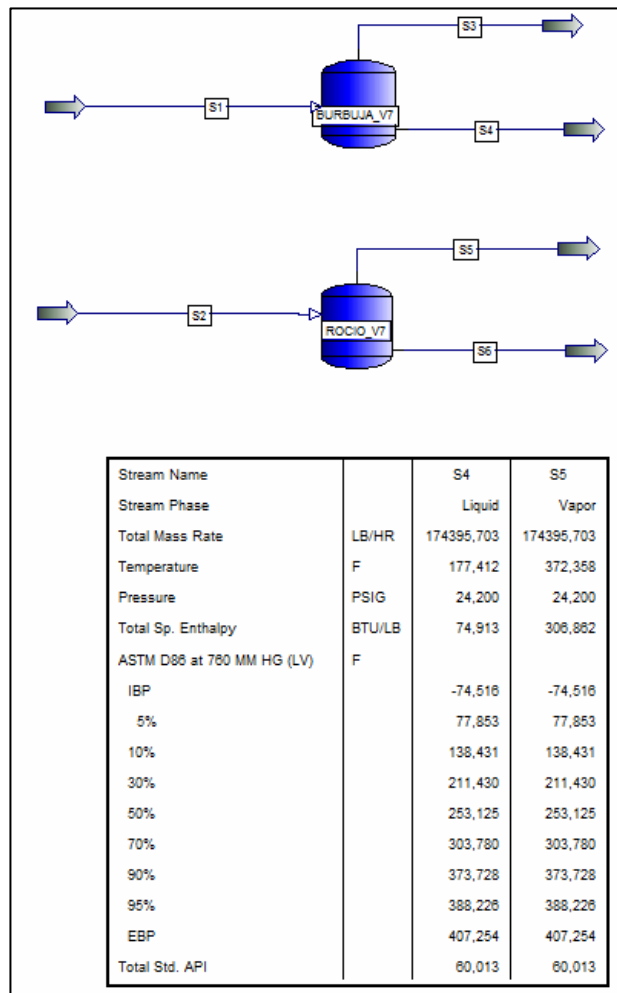
#### **a) Falla de agua de enfriamiento**

En este caso se considera que se debe aliviar el flujo de vapores en el tope menos la cantidad de incondensables que normalmente se retiran por el tambor de reflujo (en caso de tratarse de condensación parcial) a la presión de alivio. (Ver figura 3.8).

El procedimiento empleado fue el siguiente:

Se determina el flujo de operación que sale por el tope de la fraccionadora y el flujo de incondensables que salen por el tambor de reflujo. (Ver figura 3.9).

Se simuló en Pro/II un flash adiabático de la corriente de tope de la fraccionadora (la composición de esta corriente se obtiene haciendo referencia, de la simulación de la DA-3 disponible, a la corriente correspondiente) a la presión de alivio, introduciéndole a la corriente el flujo de operación que en condiciones normales sale por el tope de la torre. (Ver figura 3.10).



**Figura 3.5. Simulación de los flashes para obtener el calor de vaporización.**

De la corriente en fase vapor resultante del flash adiabático se obtiene el flujo, la temperatura y propiedades del alivio. El flujo de alivio es el flujo de vapor resultante del flash adiabático menos el flujo de incondensables que se retira normalmente por el tambor de reflujo. Los resultados para falla de agua de enfriamiento se pueden observar en la tabla 4.1 y 4.5 del capítulo IV.

$$\text{Flujo}_{\text{alivio}} = 117.900,508 - 79,024 = 117.821,48 \quad \text{lb/h}$$

Datos a Introducir	
Fases en el Recipiente	3
Horientación del Recipiente	1
Drenaje	1
Si es Enfriador por Aire	
-.- Area desnuda de Tubos [ft^2]	
<a href="#">Ver Fig</a>	
Nivel de Líquido por debajo de 25 [ft] (NLL)	
Longitud del Recipiente (Si es Horizontal) (L) [ft]	24
Diámetro del Recipiente (Vertical) (Dv) [ft]	
Diámetro del Recipiente (Horizontal) (Dh) [ft]	8,08
Calor Latente del líquido [BTU/Lb]	
Factor Ambiental	
Nivel de Llenado [ft]	0
Presión de Alivio [psia]	
Temperatura de la Pared del Equipo [°R], según API (Tw)	
Temperatura del gas a condiciones de Alivio [°R] (T1)	
Temperatura a Condiciones Normales [°R] (Tn)	
Presión a Condiciones Normales [psia] (Pn)	
Coefficiente Efectivo de descarga (Kd)	
Área Expuesta al Fuego [pie^2]	
C	
Calor Absorbido (Qabsorbido) [BTU/hr]	0
Peso Molecular (M)	
Factor de Compresibilidad (Z)	
Factor de Capacidad (Kb)	
<a href="#">Ver Fig</a>	
<b>SI Existen DOS Fases Líquidas</b>	
TIPO DE CASO ( VER FIG)	1
Nivel de Vapor por debajo de 25 [ft] hasta Interfase (Nvv)	<a href="#">3.51</a>
Nivel de Líquido por debajo de la Interfase dentro de 25 [ft] (NLL)	<a href="#">2.01</a>
Diámetro del Recipiente (Vertical) (Dv) [ft]	<a href="#">8.08</a>
Calor de Vaporización del HC λ [BTU/Lb]	231,947
Factor Ambiental	1
<b>Carga de Alivio [Lb/hr]</b>	<b>10476,00802</b>
Área de Descarga en la Valvula de Alivio [in^2]	No Aplica
<b>SI Existen DOS Fases Líquidas</b>	
Área Expuesta al Fuego H2O [pie^2]	122,184
Área Expuesta al Fuego HC [pie^2]	160,2602569
Calor recibido por el Agua [BTU/hr]	1080367,476
Calor recibido por el Hidrocarburo [BTU/hr]	1349511,156
Calor Total [BTU/hr]	2429878,632

Figura 3.6. Hoja de cálculo para caso fuego del tambor V-7

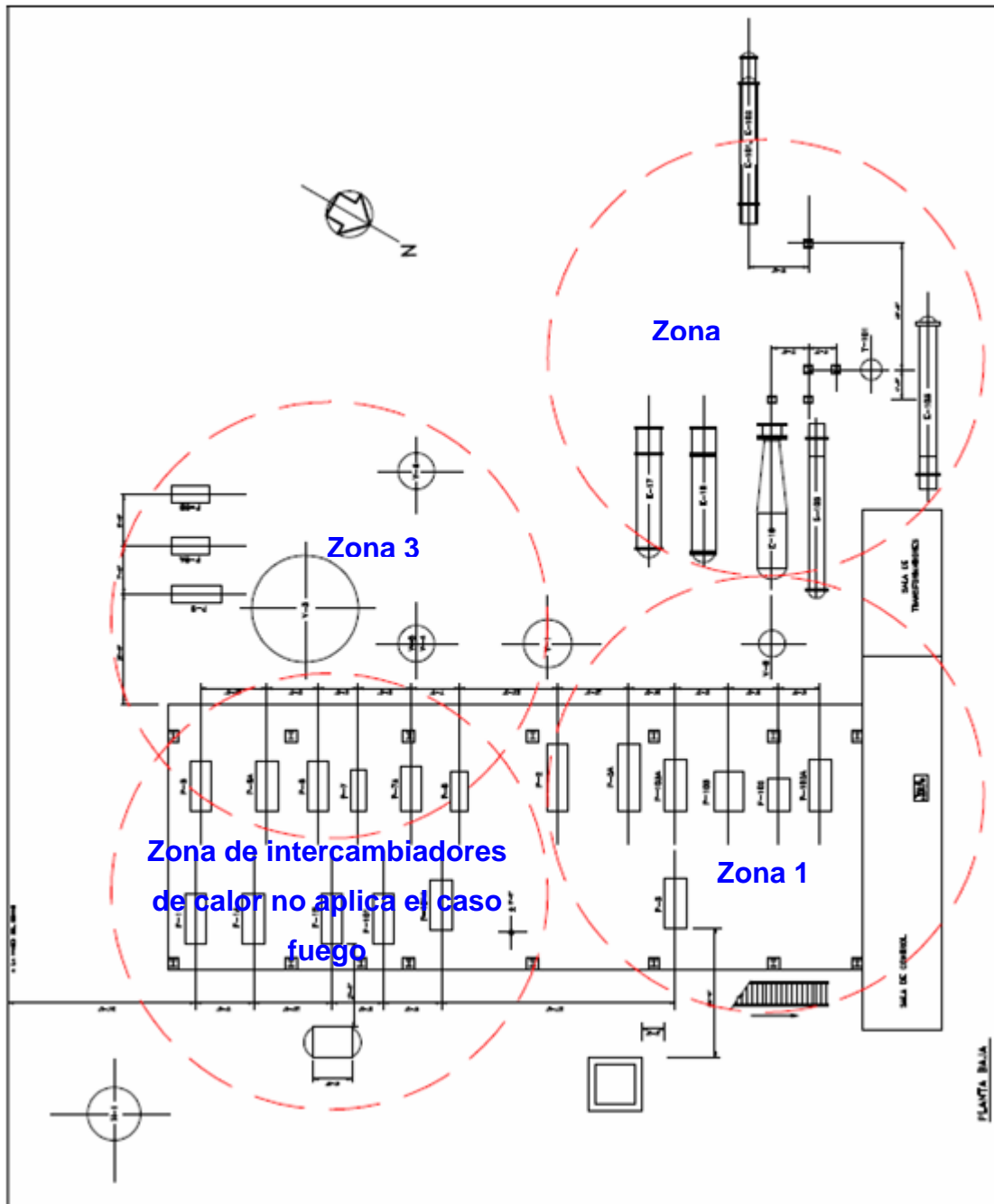
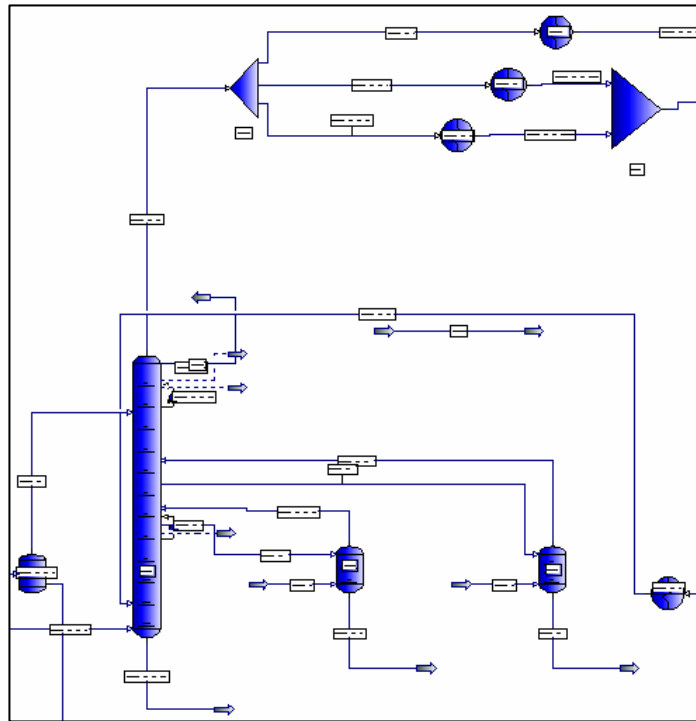


Figura 3.7. Plano DA-3 ubicación de las zonas con respecto al área correspondiente para caso fuego.



**Figura 3.8. Diagrama de simulación en Pro/II de la torre V-3.**

Al tener un flujo de alivio bastante alto se deben usar tres válvulas de alivio para poder aliviar esa cantidad de flujo. El flujo de alivio se divide en tres para poder simular en Visual Flow, ya que el simulador no permite colocar las tres válvulas de alivio, por tal razón se simula la de mayor presión de ajuste.

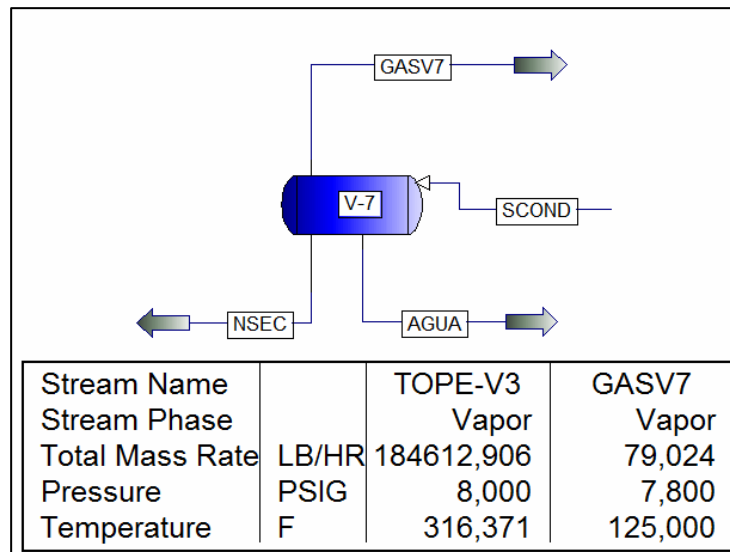


Figura 3.9. Simulación Tambor V-7 con sus respectivas corrientes.

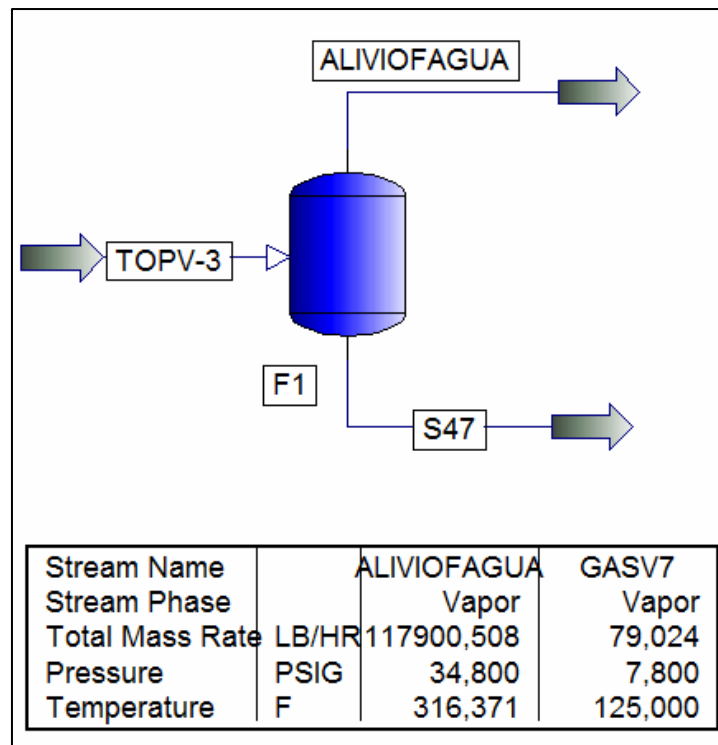


Figura 3.10. Flash en Pro/II de la corriente de tope V-3

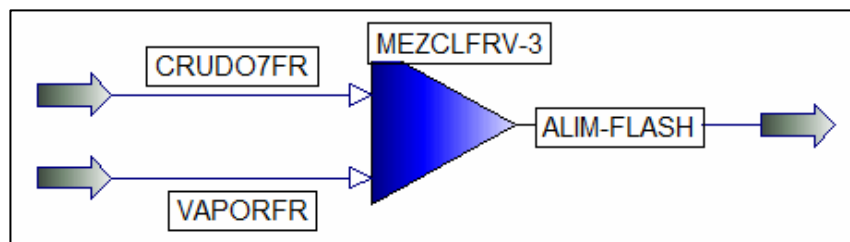
## b) Pérdida del reflujo

Esta contingencia se presenta por la parada de las bombas de reflujo o por el bloqueo de alguna de las válvulas en la línea de reflujo. Para determinar el flujo de alivio se siguió el siguiente procedimiento, el cual se basa en tomar en cuenta la torre sin la zona de enriquecimiento (platos por encima de la alimentación) puesto que los platos de esta zona se secan al perderse el reflujo:

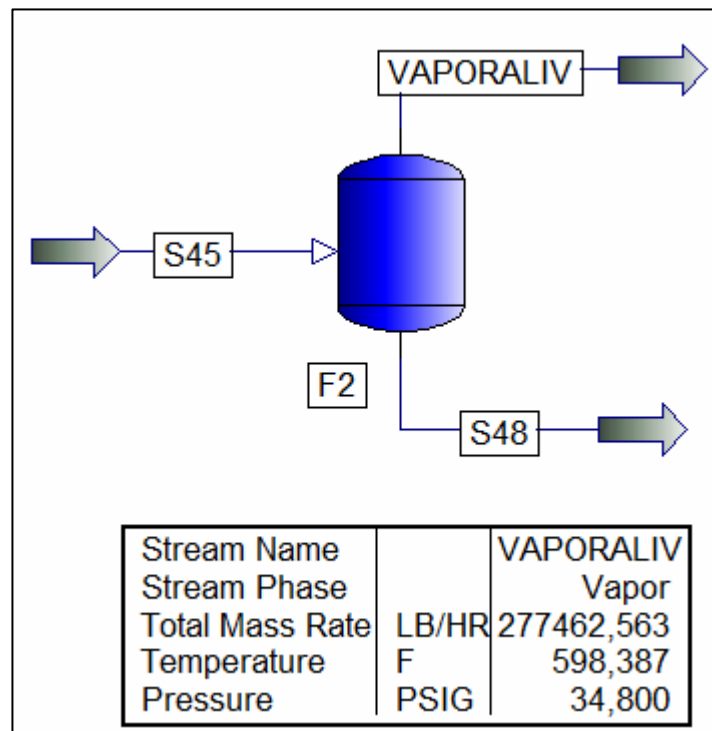
Se simula un mezclador en Pro/II de la corriente de alimentación junto a las demás corrientes que entran a la zona de despojamiento a sus condiciones normales de operación. Ver figura 3.11 donde se muestra un mezclador con las corrientes (crudo y vapor) que entran en la zona de despojamiento de la V-3.

Luego se simula en Pro/II un flash adiabático de la mezcla a la presión de alivio. El flujo de alivio es el flujo de vapor resultante de este flash adiabático. (Ver figura 3.12). Los resultados para pérdida del reflujo se pueden observar en la tabla 4.5 del capítulo IV.

$$\text{Flujo}_{\text{alivio}} = 277.462,563 \text{ lb/h}$$



**Figura 3.11. Mezclador en Pro/II de las corrientes que entran en la zona de despojamiento de la V-3**



**Figura 3.12. Flash de la corriente de mezcla de donde se obtiene el flujo de alivio por pérdida de reflujo.**

### c) Fuego

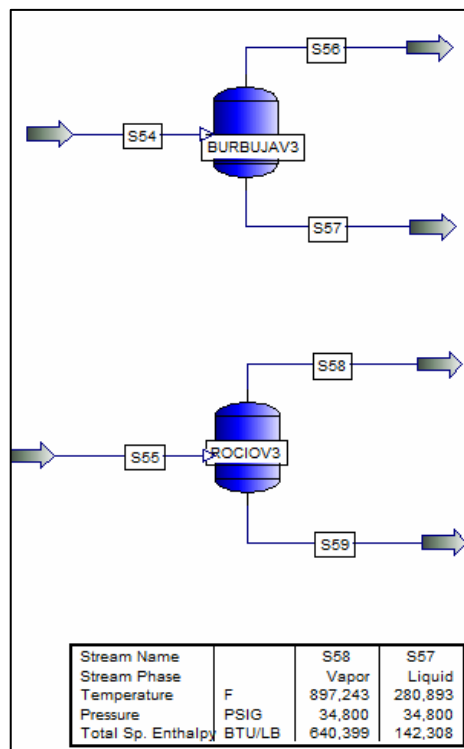
El procedimiento para evaluar la contingencia fuego en torres es el mismo que se usa para evaluar los recipientes verticales por esta contingencia. La diferencia es que se debe adicionar la retención de líquido de los platos que se encuentren debajo de los 25 pie del nivel de líquido que se encuentra en el fondo de la torre.

A continuación se muestra el procedimiento para calcular el nuevo nivel de líquido efectivo para el caso fuego en torres y que ha de ser usado en la ecuación 3.3 para el cálculo del área mojada: (Ver figuras 3.13 y 3.14)



- Se asume que los platos operan con un nivel de líquido de 3,94 pulg.
- Con la distancia entre el nivel máximo de líquido en el fondo de la torre y el primer plato y con el espaciamiento entre platos reportado en la hoja de especificaciones, se calcula el número de platos debajo de los 25 pie de altura considerados para el caso fuego (Nplatos)
- Finalmente el nuevo nivel efectivo (nefftotal) que ha de ser introducido en la ecuación 3.3 se calcula con la siguiente ecuación:

$$n_{\text{efftotal}} = n_{\text{eff}} + N_{\text{platos}} \left( \frac{3,94}{12} \right) \quad (\text{Ec.3.7})$$



**Figura 3.13. Simulación Pro/II para obtener calor de vaporización**

Los resultados para el caso incendio se pueden observar en la tabla 4.3 del capítulo IV.

### **3.2.3 Intercambiadores de calor**

Para estos equipos se consideraron dos tipos de contingencias:

- Expansión térmica
- Rotura de tubos

#### **a) Expansión térmica**

En este caso la sobrepresión puede generarse por la vaporización del líquido frío atrapado en el intercambiador o por su dilatación, luego que alcanza la temperatura normal de entrada del fluido caliente.

Lo primero que hay que verificar, es que exista la posibilidad de aislar el fluido frío del intercambiador. Para ello, se verificó en campo y con ayuda de los P&ID (Diagramas de procesos e instrumentación, ver figura 3.15) que existan válvulas de aislamiento tanto en la entrada como en la salida del mismo por el lado del fluido frío. De esa manera, se seleccionan los intercambiadores a evaluar por esta contingencia.

Datos a Introducir	
Fases en el Recipiente	1
Horientación del Recipiente	2
Drenaje	1
Si es Enfriador por Aire	
- Area desnuda de Tubos [ft^2]	
<a href="#">Ver Fig</a>	
Nivel de Líquido por debajo de 25 [ft] (NLL)	13,99
Longitud del Recipiente (Si es Horizontal) (L) [ft]	
Diámetro del Recipiente (Vertical) (Dv) [ft]	9
Diámetro del Recipiente (Horizontal) (Dh) [ft]	
Calor Latente del líquido [BTU/Lb]	498,091
Factor Ambiental	1
Nivel de Llenado [ft]	0
Presión de Alivio [psia]	
Temperatura de la Pared del Equipo [°R], según API (Tw)	
Temperatura del gas a condiciones de Alivio [°R] (T1)	
Temperatura a Condiciones Normales [°R] (Tn)	
Presión a Condiciones Normales [psia] (Pn)	
Coefficiente Efectivo de descarga (Kd)	
Área Expuesta al Fuego [pie^2]	
C	
Calor Absorbido (Qabsorbido) [BTU/hr]	3338693,223
Peso Molecular (M)	
Factor de Compresibilidad (Z)	
Factor de Capacidad (Kb)	
<b>Carga de Alivio [Lb/hr]</b>	<b>6702,978418</b>
Área Mojada o Humeda [ft^2]	483,7065593
Calor Absorbido (Qabsorbido) [BTU/hr]	3338693,223

Si tiene Líquido = 1  
 No tiene Líquido = 2  
 Dos Fases Líquidas = 3

Horizontal = 1  
 Vertical = 2

Drenaje Apropriado=1  
 Mal Drenaje=2

F= 1 SIN AISLAMIENTO TERMICO  
 F= 0,02 MUY REVESTIDO  
 SE CONSIDERA 1 ASUMIENDO EL  
 PEOR DE LOS CASOS

**Figura 3.14. Hoja de calculo elaborada en Excel para la obtención del flujo de alivio para caso fuego de torre V-3.**

El procedimiento de cálculo va a depender de la fase del fluido frío a la condición de alivio. Para ello, se simulan en Pro/II las corrientes frías de los intercambiadores a la condición de alivio (Ver figura 3.18). La condición de alivio en este caso se refiere a los siguientes valores de presión y temperatura:

Presión de alivio = Presión de ajuste x 1,1

Temperatura de alivio = Temperatura de entrada normal del fluido caliente al intercambiador

- **Expansión térmica con vaporización del fluido frío**

Cuando el fluido frío se vaporiza parcial o totalmente a la condición de alivio, el flujo a aliviar se calcula con la ecuación 3.6:

Donde:

$$\lambda = h_v - h_l \quad (\text{Ec. 3.8})$$

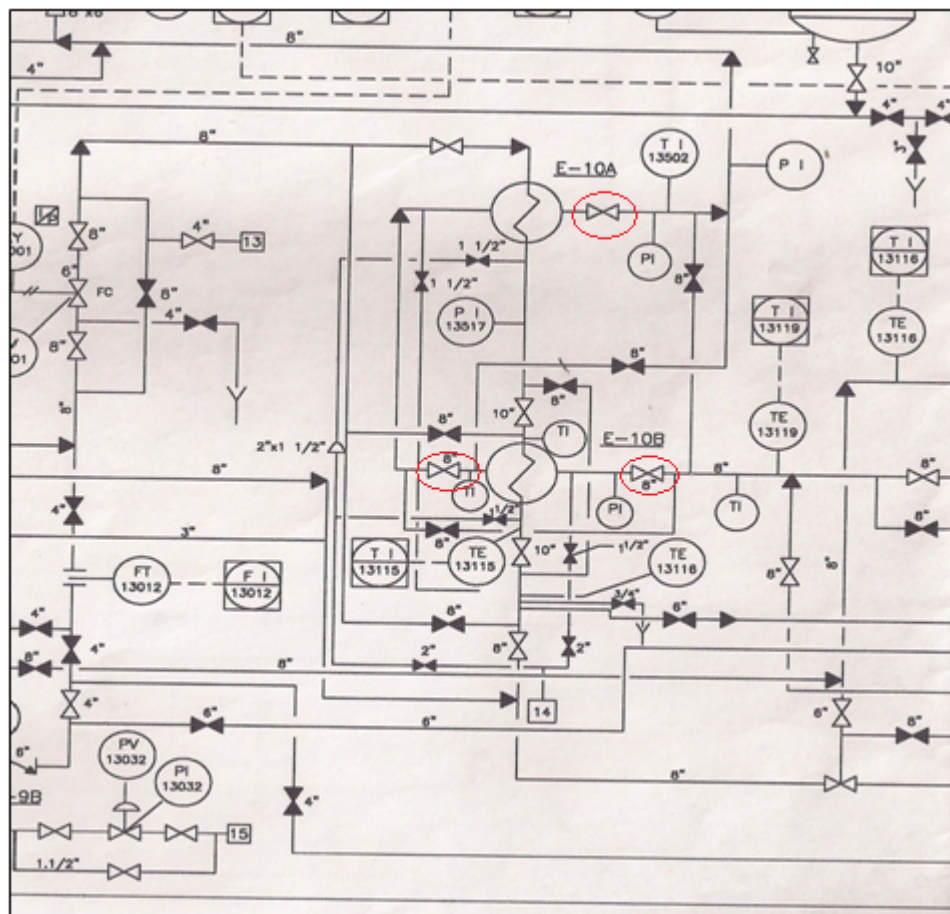
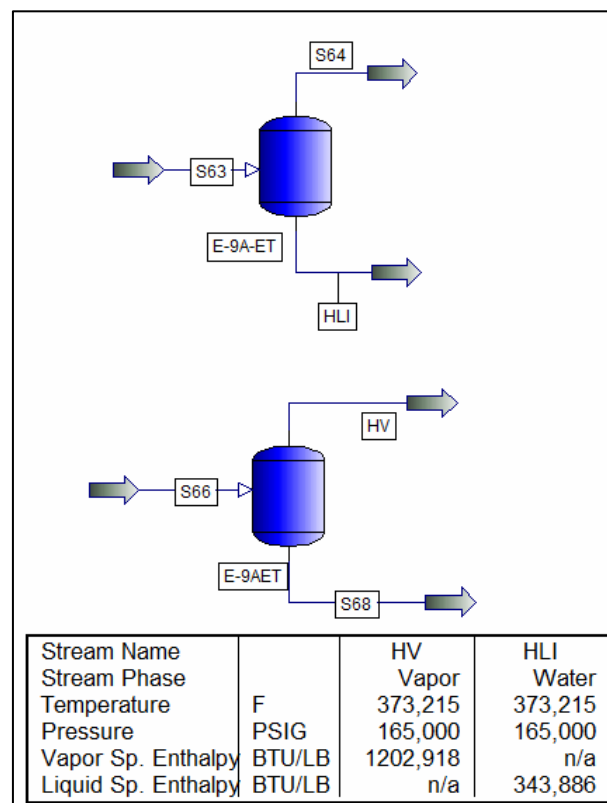


Figura 3.15. Diagrama de tubería e instrumentación de los E-10A/B

El calor usado en la ecuación 3.6 se aproxima como el calor que pierde la corriente del lado caliente, desde su temperatura de entrada normal hasta la temperatura de burbuja del fluido frío a la presión de alivio. Para obtener esta temperatura de burbuja se simula un flash en Pro/II de la corriente fría pidiendo que calcule la temperatura de burbuja a la presión de alivio. De este flash también se obtiene la entalpía del líquido saturado a introducir en la ecuación 3.8. Luego se simula otro flash a punto de burbuja, a la presión de alivio para obtener la entalpía del vapor saturado a introducir en la ecuación 3.8, así como las propiedades del vapor a aliviar que se requieren en las fórmulas de dimensionamiento de la válvula de alivio. (Ver figura 3.16)

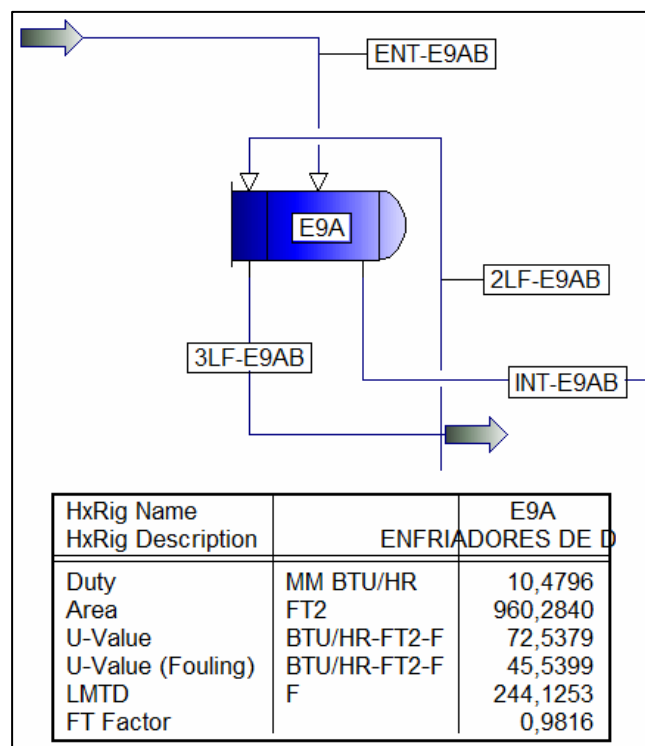


**Figura 3.16 Simulación Pro/II de los Flash para obtener el calor de vaporización**

El calor se obtiene simulando en Pro/II un intercambiador simple o riguroso al que se le especifica composición, flujo y temperaturas de entrada y salida de la corriente caliente. (Ver figura 3.17)

Introduciendo el calor latente del fluido frío y el calor transferido por el fluido caliente en la ecuación 3.6, se obtiene el flujo másico de alivio de gas requerido por esta contingencia.

$$W_{\text{alivio}} = \frac{10,4796 \times 10^6 \text{ Btu/h}}{859,032 \text{ Btu/lb}} = 21.199,313 \text{ lb/h}$$



**Figura 3.17 Simulación Pro/II intercambiador de calor E-9A para obtener el calor**

- **Expansión térmica sin vaporización del fluido frío**

En los casos en que no ocurra vaporización, la metodología de cálculo está basada en la estimación del flujo de líquido que requiere ser aliviado como consecuencia de su dilatación por aumento de la temperatura. El flujo a aliviar se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$W_{\text{alivio}} = \frac{\beta \times Q}{Cp \times \rho \times 8,02} \quad (\text{Ec 3.9})$$

Donde:

$$\beta = \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2(T_{\text{alivio}} - T_1) \times \rho_1 \times \rho_2} \quad (\text{Ec 3.10})$$

$$\bar{Cp} = \frac{Cp_1 + Cp_2}{2} \quad (\text{Ec 3.11})$$

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (\text{Ec 3.12})$$

Donde:

$W_{\text{alivio}}$ : flujo de alivio, gpm.

$\beta$ : coeficiente de expansión térmica, adimensional.

$\rho_1$ : densidad del fluido frío a la temperatura de entrada normal, lb/pie<sup>3</sup>.

$T_1$ : temperatura del fluido frío a la entrada del intercambiador, °F.

$Cp_1$ : calor específico de la corriente fría a la temperatura de entrada normal al intercambiador, Btu/lb°F.

$\rho_2$ : densidad del fluido frío a la temperatura de entrada del fluido caliente, lb/pe<sup>3</sup>.

$T_{\text{alivio}}$ : temperatura de entrada del fluido caliente al intercambiador, °F.

$C_{p2}$ : calor específico de la corriente fría a la temperatura de entrada normal del fluido caliente al intercambiador, Btu/lb°F.

$\bar{C}_p$ : calor específico promedio, Btu/lb°F.

Nota: los subíndices 1 y 2 corresponden a las siguientes condiciones:

- 1) Fluido frío a la temperatura de entrada normal al intercambiador.
- 2) Fluido frío a la temperatura de entrada del fluido caliente al intercambiador.

De la simulación creada en Pro/II para verificar la fase de los fluidos fríos de los intercambiadores a la condición de alivio se obtienen la densidad y la capacidad calorífica referidas a la condición 2.

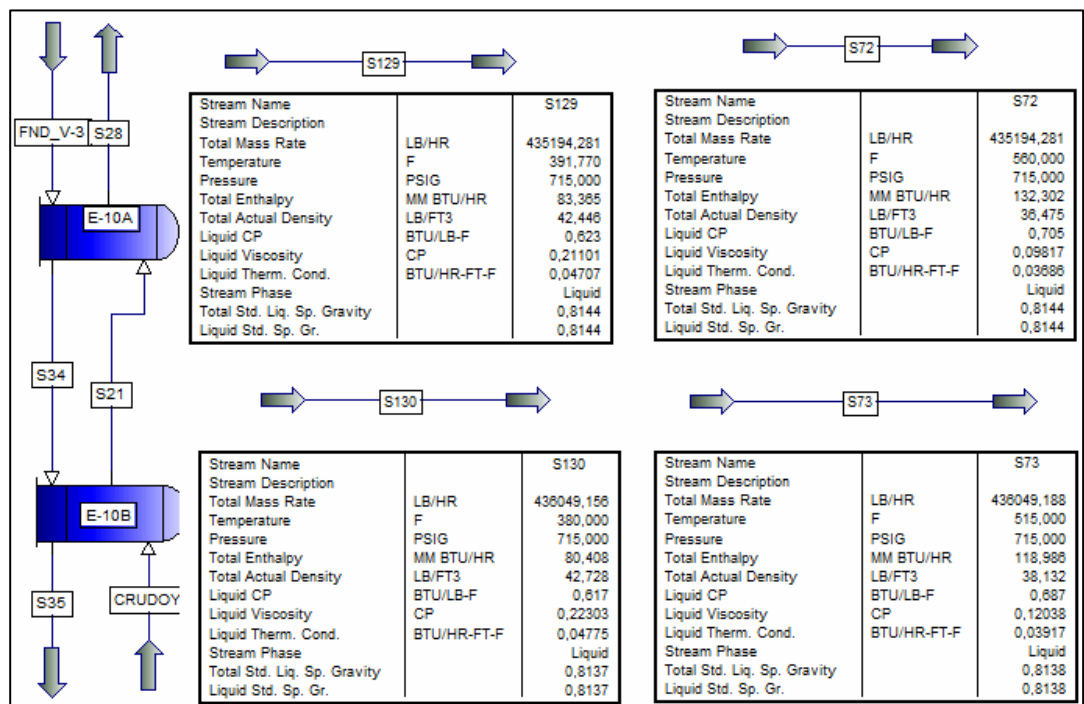
Las propiedades del fluido frío a la condición normal se obtienen simulando en Pro/II las corrientes de líquido a la temperatura de entrada al intercambiador en condiciones normales de operación. (ver figura 3.18)

El calor a introducir en la ecuación 3.9 es el calor de operación normal, el cual se puede obtener simulando en Pro/II un intercambiador simple, al cual se le define la corriente fría o caliente, la composición, el flujo y las temperaturas de entrada y salida de operación normal. (ver tabla 3.2) Luego se procede a introducir todos los datos en una hoja de cálculo (ver figura 3.19). Los resultados para expansión térmica se pueden observar en la tabla 4.7 del capítulo IV.



**Tabla 3.2. Calor Q de los intercambiadores E-10A y E-10B extraída del simulador Pro/II**

HxRig Name		E-10A	E-10B
HxRig Description			
Duty	MM BTU/HR	4,0119	3,1537
Area	FT2	1429,9761	1429,9832
U-Value	BTU/HR-FT2-F	89,5994	84,0167
U-Value (Fouling)	BTU/HR-FT2-F	20,5285	20,2207
LMTD	F	137,4911	109,7281
FT Factor		0,9940	0,9940



**Figura 3.18. Simulación en Pro/II para verificar la fase de los fluidos fríos a la condición de alivio y las propiedades del fluido frío a la condición normal y sus respectivas propiedades, de los intercambiadores E-10 A/B.**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
D1	D2	T1	T2	B	CP1	CP2	Cpprom	Dprom	Q	FLUJO[ <i>gpm</i> ]	EQUIPOS
47,593	45,605	196,14	270	0,000577867	0,518	0,556	0,537	46,599	4075800	11,73588233	E-1A
48,183	46,079	173,07	253	0,000558786	0,505	0,547	0,526	47,131	4352000	12,23116471	E-1B
48,814	46,542	147,92	236	0,000541327	0,491	0,539	0,515	47,678	4640400	12,75602622	E-1C
49,497	47,048	120,26	217	0,000524762	0,476	0,529	0,5025	48,2725	4934200	13,30972165	E-1D
50,181	47,534	90	196	0,000511488	0,46	0,518	0,489	48,8575	5225100	13,94812342	E-1E
42,437	36,463	319,77	560	0,000633998	0,623	0,705	0,664	39,45	4012000	12,10763671	E-10A
42,713	38,115	380	515	0,000845495	0,618	0,687	0,6525	40,414	3153700	12,60795623	E-10B
44,24	40,202	331,44	460	0,000745635	0,588	0,665	0,6265	42,221	8703200	30,5901209	E-7A

K	L
FLUJO[ <i>gpm</i> ]	EQUIPOS
11,73588233	E-1A
12,23116471	E-1B
12,75602622	E-1C
13,30972165	E-1D
13,94812342	E-1E
12,10763671	E-10A
12,60795623	E-10B
30,5901209	E-7A

**Figura 3.19. Hoja de cálculo para obtener los flujos de alivio de los intercambiadores E-10 A/B.**

**b) Rotura de tubos**

Se evalúan aquellos intercambiadores que cumplan con el siguiente criterio:

Presión de diseño del lado de alta presión  $> 1,5 \times$  Presión de diseño del lado de baja presión

Aplica a los siguientes intercambiadores:

**Tabla 3.3 Intercambiadores evaluados por rotura de tubos**

Intercambiadores	Presión diseño tubos [psig]	Presión diseño. carcaza [psig]	1,5 x P. diseño baja presión
E-1 A/B/C/D/E	150	300	225
E-4	150	300	225
E-5	150	300	225
E-6 A/B	300	100	150
E-7 A/B	650	100	150
E-8	650	200	300
E-10 A/B	200	650	300
E-12 A/B/C/D/E/F	150	75	112,5
E-18	150	300	225

Para cada intercambiador que cumpla con la condición anterior se aplica el siguiente procedimiento:

- **Verificar la fase del fluido del lado de alta presión (fluido que fuga) a la condición de alivio.**

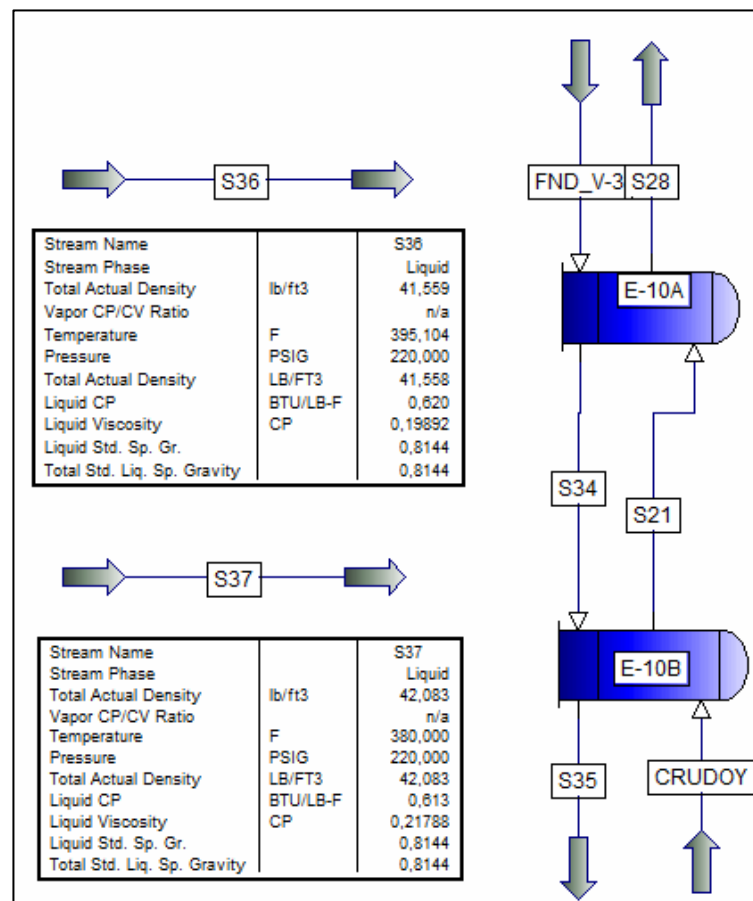
Para ello, se crea una simulación en Pro/II de la corriente del lado de alta presión del intercambiador a la presión de diseño del lado de baja presión más el 10% de sobrepresión (presión de alivio) y a la temperatura del lado de alta presión. Luego, el procedimiento dependerá de la fase final del fluido que fuga a la condición de alivio. (Ver figura 3.20)

$$P_{alivio} = 200 \times 1,1 = 220 \text{ psig}$$

- Cálculo del flujo de rotura, si el fluido es líquido a la condición de alivio

El flujo a través de la rotura se calcula considerando que el fluido pasa a través de un orificio de área equivalente a dos veces el área de un tubo del intercambiador de calor. Esto es equivalente a aplicar la siguiente fórmula:

$$A_{\text{rotura}} = \frac{2 \times \pi \times d_i^2}{4} \quad (\text{Ec. 3.13})$$



**Figura 3.20 Simulación intercambiadores E-10A/B y corrientes a condiciones de alivio**

$$P_{alivio} = 200 \times 1,1 = 220 \text{ psig}$$

Para el caso del intercambiador E-10 A:

$$A_{rotura} = \frac{2 \times \pi \times (0,81)^2}{4} = 1,03 \text{ pulg}^2$$

El flujo que atraviesa el orificio hacia el lado de baja presión se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$W_{alivio} = 1.566 \times A_{rotura} \times \sqrt{\rho_2 \times (P_1 - P_{alivio})} \quad (\text{Ec 3.14})$$

Para el caso del intercambiador E-10 A:

$$W_{Rotura} = 1.566 \times 1,03 \times \sqrt{41,573 \times (664,7 - 234,7)} = 215.659,65 \text{ lb/h}$$

Donde:

$W_{Rotura}$ : flujo de alivio, lb/h.

$A_{rotura}$ : área de rotura del tubo, pulg<sup>2</sup>.

$\rho_2$ : densidad del líquido del lado de alta presión a las condiciones de alivio, lb/pie<sup>3</sup>.

$P_1$ : presión de diseño del lado de alta presión, psia.

$P_{alivio}$ : presión de alivio del lado de baja presión, psia.

- **Cálculo del flujo de rotura, cuando el fluido es vapor o se vaporiza a la condición de alivio**

En este caso la diferencia con el procedimiento para el caso de líquidos fugando es que el fluido que fuga es vapor, entonces el flujo va a depender de la presión de flujo crítica. Quiere decir que el valor a introducir en la ecuación 3.14 va a depender de las siguientes consideraciones:

Si  $P_{\text{alivio}} < P_x$  entonces se usa  $P_x$  en lugar de  $P_2$ .

Si  $P_{\text{alivio}} > P_x$  entonces se sigue usando  $P_2$  en la ecuación.

$$P_x = P_1 \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Donde:

$P_x$ : Presión de flujo crítica, psia.

$k$ : relación de calor específico,  $C_p/C_v$ .

$P_1$  : Presión de diseño del lado de alta presión.

Si el fluido es vapor cuando se encuentra en el lado de alta presión entonces la densidad  $\rho_2$  que se introduce en la ecuación 3.14, se calcula como sigue:

$$\rho_2 = \rho_1 \left( \frac{P_{\text{alivio}}}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (\text{Ec 3.16})$$

A su vez, la densidad inicial del fluido se obtiene simulando en Pro/II la corriente del lado de alta presión a la presión de diseño y temperatura de operación normal de esa sección del intercambiador.

- **Determinación del flujo de alivio y requerimiento de válvula de alivio**

Se debe escoger el flujo de alivio entre el flujo de rotura calculado, el flujo de operación y el flujo de diseño del lado de alta presión. Para ello, se sigue el procedimiento descrito en el algoritmo que se presenta en la figura 3.21.

Aplicando el algoritmo al intercambiador E-10A se tiene:

La carcasa es el lado de alta presión.

Flujo de rotura= 215.659,65 lb/h es menor al flujo de diseño= 360.400 lb/h

Por lo tanto se cumple que:

Flujo de rotura= 215.659,65 lb/h es menor al flujo de operación= 433.921 lb/h

El flujo considerado = flujo de rotura = 215.659,65 lb/h

Flujo operación de baja presión= 97.608 lb/h

Por lo tanto como el flujo considerado es mayor al flujo de operación del lado de baja presión si se requiere válvula de alivio.

Los resultados para el caso de rotura de tubos se pueden observar en la tabla 4.8 del capítulo IV.

### 3.2.4 Bombas

Se evaluaron todas las bombas centrífugas a través del siguiente procedimiento:

- Verificar que exista la posibilidad de bloquear algún punto en la línea de descarga de manera que queden equipos atrapados entre el punto de bloqueo y la descarga de la bomba, tal como se muestra en la figura 3.22 donde se pueden observar intercambiadores aguas abajo de las bombas.
- Se compara la presión de shutoff o presión a condición de cero flujo con la presión de diseño de los equipos afectados por el bloqueo, mediante el siguiente procedimiento:
  - De la curva característica se lee el cabezal a cero flujo. (Ver figura 3.23)  
Para la P-9 el  $\Delta H_0 = 780 \text{ pie}$
  - Este cabezal se lleva a diferencial de presión con la siguiente ecuación:

$$\Delta P_0 = \frac{\Delta H_0 \times SG}{2,31} \quad (\text{Ec. 3.17})$$



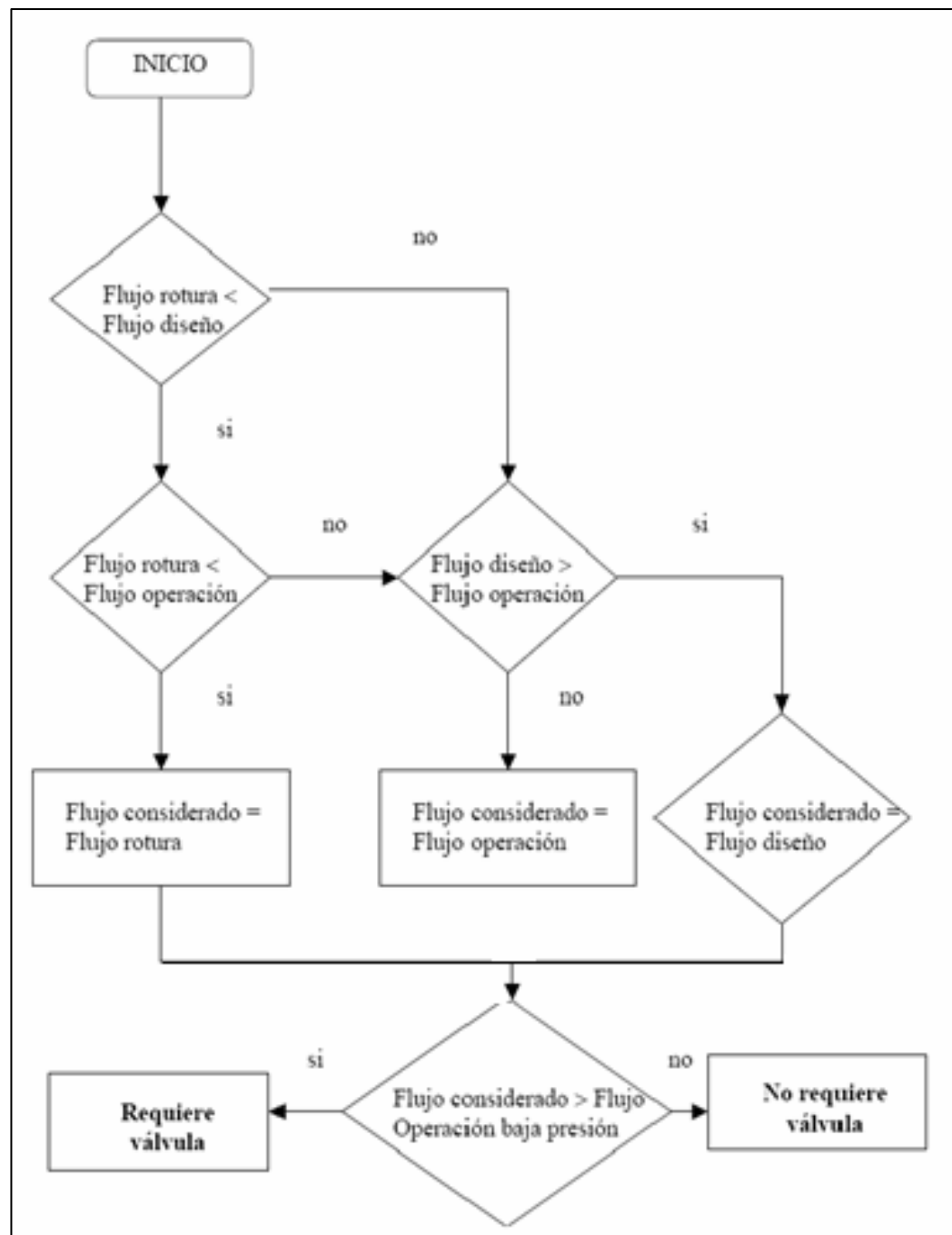


Figura 3.21 Algoritmo para la determinación del flujo de alivio por rotura de tubos.

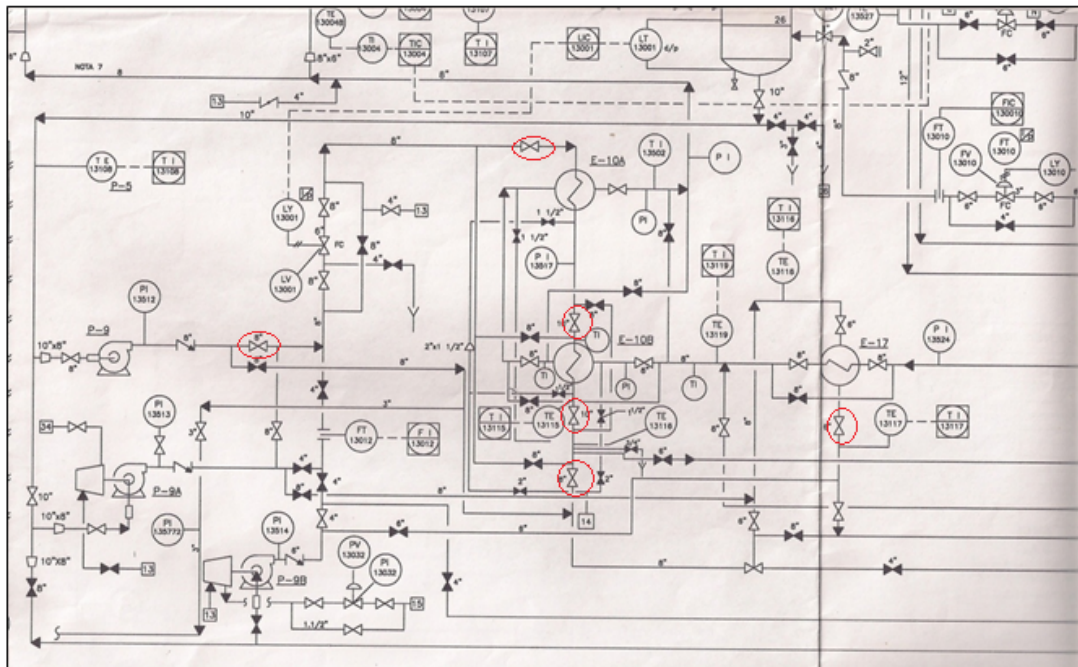


Figura 3.22 Diagrama de tubería e instrumentación para las bombas P-9A/B

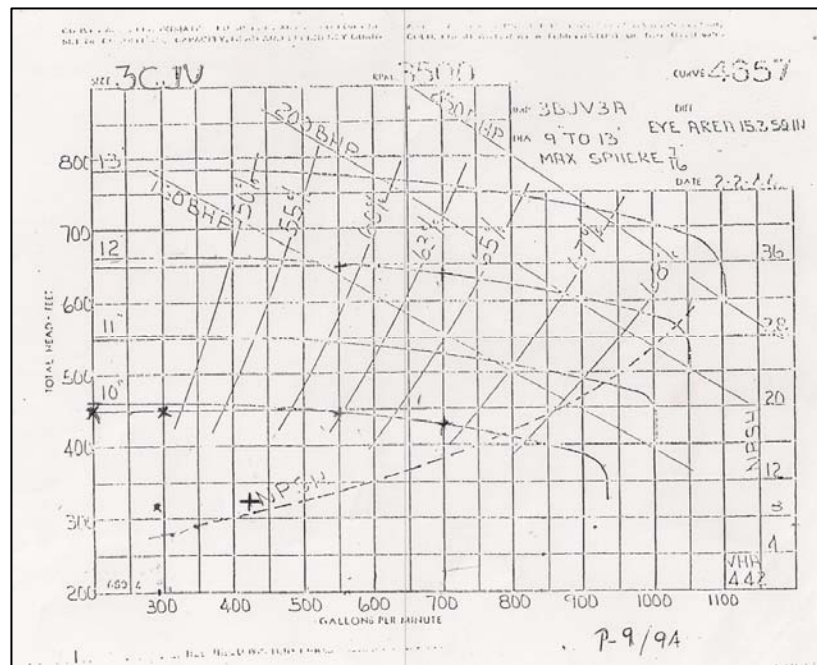
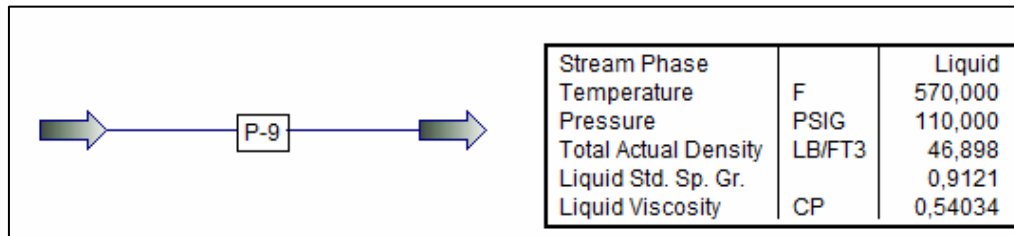


Figura 3.23 Curvas de la bomba P-9/9A

La gravedad específica se obtiene simulando en Pro/II el líquido que maneja la bomba a la temperatura de operación normal. (Ver figura 3.24)



**Figura 3.24 Simulación corriente líquida que maneja la bomba P-9**

$$SG = 0,9121$$

Se calcula la máxima presión de succión con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{máxsucción}} = P_0 + \frac{\rho \times g \times \Delta h_s}{144 \times gc} \quad (\text{Ec. 3.18})$$

Se determina la presión de shut off ó máxima presión en la descarga en condición de cero flujo con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{shutoff}} = P_{\text{máxsucción}} + \Delta P_0 \quad (\text{Ec. 3.19})$$

Se compara Pshutoff con la presión de diseño del equipo más débil aguas abajo y si es mayor entonces se requiere una válvula de alivio en la descarga de la bomba. (Ver figura 3.25 y tabla 3.4).

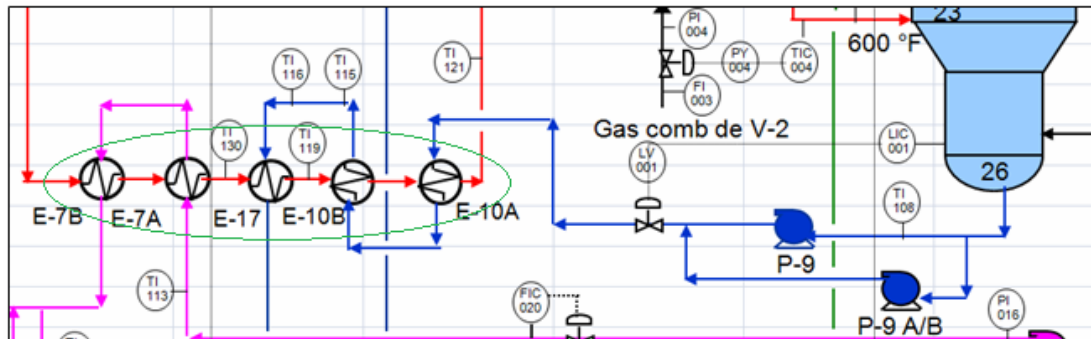


Figura 3.25 Diagrama de proceso de la bomba P-9

Tabla 3.4 Pshutoff de la bomba P-9 y presión de diseño de los equipos aguas abajo.

EQUIPO	Pshutoff
P-1 /1A	445,791982
P-2	379,802301
P-6/6A	235,182137
P-7/7A	281,296589
P-8	180,524603
<b>P-9/9A</b>	<b>348,086066</b>
P-5	178,507574
P-101/101A	194,917011
P-2A	647,644725

EQUIPO	PRESION DISEÑO [Psig]	LADO
E-10 A/B	200	Tubo
E-17	100	Coraza

- **Cálculo del flujo de alivio.** Para ello, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Se calcula un diferencial de presión a la condición de alivio con la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{\text{alivio}} = P_{\text{alivio}} - P_{\text{máxsucción}} \quad (\text{Ec. 3.20})$$

Con este diferencial de presión se calcula el cabezal desarrollado por la bomba en condiciones de alivio mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta H_{\text{alivio}} = \frac{\Delta P_{\text{alivio}} \times 2,31}{SG} \quad (\text{Ec. 3.21})$$

Donde:

$P_{\text{shutoff}}$ : presión de *shutoff*, psig.

$P_{\text{máxsucción}}$ : presión máxima de succión, psig

$\Delta P_0$ : diferencial de presión para el cabezal a cero flujo, psig.

$P_0$ : presión máxima de operación del recipiente de succión de la bomba.

$\rho$ : densidad del fluido a las condiciones de alivio, lb/pie<sup>3</sup>.

$\Delta h_s$ : diferencia de altura entre el nivel máximo en el recipiente y el eje de la bomba.

$g$ : aceleración de gravedad, 32,2 pie/s<sup>2</sup>.

$gc$ : constante adimensional, 32,2 lb x pie/lbf x s<sup>2</sup>.

$\Delta H_0$ : cabezal a cero flujo, pie.

$SG$ : gravedad específica del líquido a la temperatura del fluido.

Finalmente con la ecuación de la curva característica de la bomba y el cabezal de alivio calculado con la ecuación 3.21, se resuelve la ecuación y se determina el flujo de alivio. (Ver figura 3.26 y tabla 3.5)

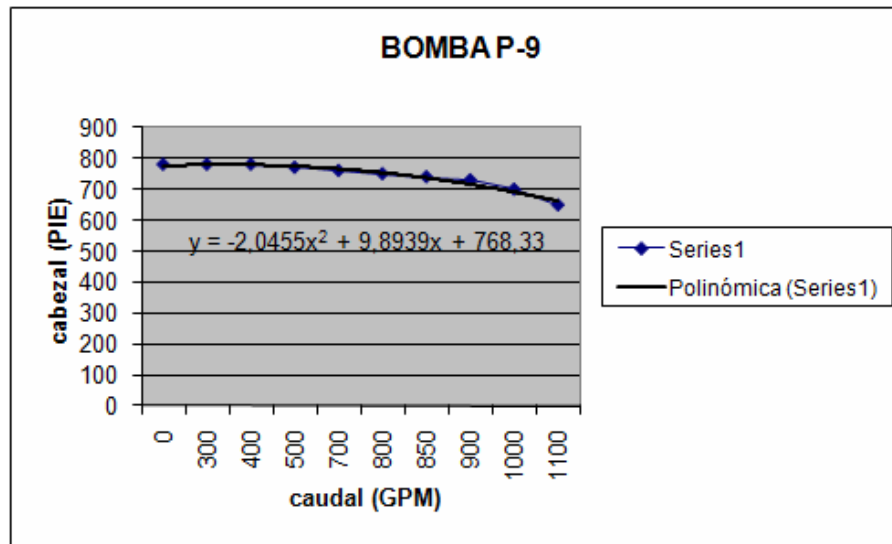
***$\Delta H_{\text{alivio}} = \text{Ecuación}$***

$$177,019 = -2,0455x^2 + 9,8939x + 768,33$$

$$-2,0455x^2 + 9,8939x + 591,311 = 0$$

Flujo de alivio= 19,592 gpm

Los resultados de la evaluación de las bombas se pueden observar en la tabla 4.9 del capítulo IV.



**Figura 3.26. Ecuación polinómica de la curva característica de la bomba P-9**

**Tabla 3.5 Cálculos en hoja Excel para el cabezal desarrollado para la bomba a condiciones de alivio**

I	J	K	L	M	N
Pmaxsuccior	Pshutoff	Palivio	DPalivio	DHalivio	EQUIPO
40,5041032	445,791982	220	179,495897	509,317678	P-1 /1A
48,523513	379,802301	715	666,476487	1891,11987	P-2
28,3457738	235,182137	110	81,6542262	221,075085	P-6/6A
22,7511349	281,296589	220	197,248865	534,042286	P-7/7A
17,2345599	180,524603	220	202,76544	571,205081	P-8
40,1042478	348,086066	110	69,8957522	177,019173	P-9/9A
33,6409073	178,507574	165	131,359093	371,771017	P-5
11,2157128	194,917011	242	230,784287	722,373582	P-101/101A
48,523513	647,644725	715	666,476487	1891,11987	P-2A

### 3.2.5 Turbinas de vapor

Las turbinas de vapor evaluadas son las que generan la fuerza impulsora de las bombas centrífugas de la unidad DA-3, las cuales son el respaldo de las bombas eléctricas.

En este caso el procedimiento se basa en la cuantificación del flujo de vapor que pasa por la turbina en la condición máxima de operación de la planta. Para ello, se sigue el siguiente procedimiento el cual se aplica a la bomba P- 1 para ilustrar el cálculo:

- Leer el valor reportado en la hoja de especificación de la turbina referente a la relación de flujo de vapor cuyas unidades son lb/BHPxh.

La relación de flujo de vapor para la bomba P1/1A = 209,237 lb/BHPxh

- Con el flujo máximo de operación de la bomba se lee en la curva característica la potencia del freno BHP (Brake Horse Power).

Flujo máximo de operación de la bomba= 1.131,2 gal/min

De la curva característica se tiene la potencia de freno= 380 BHP

- Finalmente el flujo a aliviar se halla multiplicando la potencia del freno por la relación de flujo de vapor.

Flujo de alivio= Potencia de freno x relación flujo de vapor

$$\text{Flujo}_{\text{alivio}} = 380 \text{ BHP} \times 209,237 \frac{\text{lb}}{\text{BHP} \times \text{h}} = 79.510,06 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Los resultados de la evaluación de las turbinas de las bombas se pueden observar en la tabla 4.10 del capítulo IV.

### **3.2.6 Dimensionamiento de válvulas de alivio**

Una vez que se selecciona para cada equipo la contingencia que genera el mayor flujo de alivio y se tienen todas las propiedades del fluido a la condición de alivio así como las contrapresiones máximas, se calcula el tamaño del orificio que se requiere para aliviar dicho flujo con fórmulas que recomienda la Norma API 520 para gases, líquidos y vapor de agua.

#### **3.2.6.1 Alivio de gases**

El área requerida para gases se calcula con el procedimiento que se presenta en la figura 3.27:



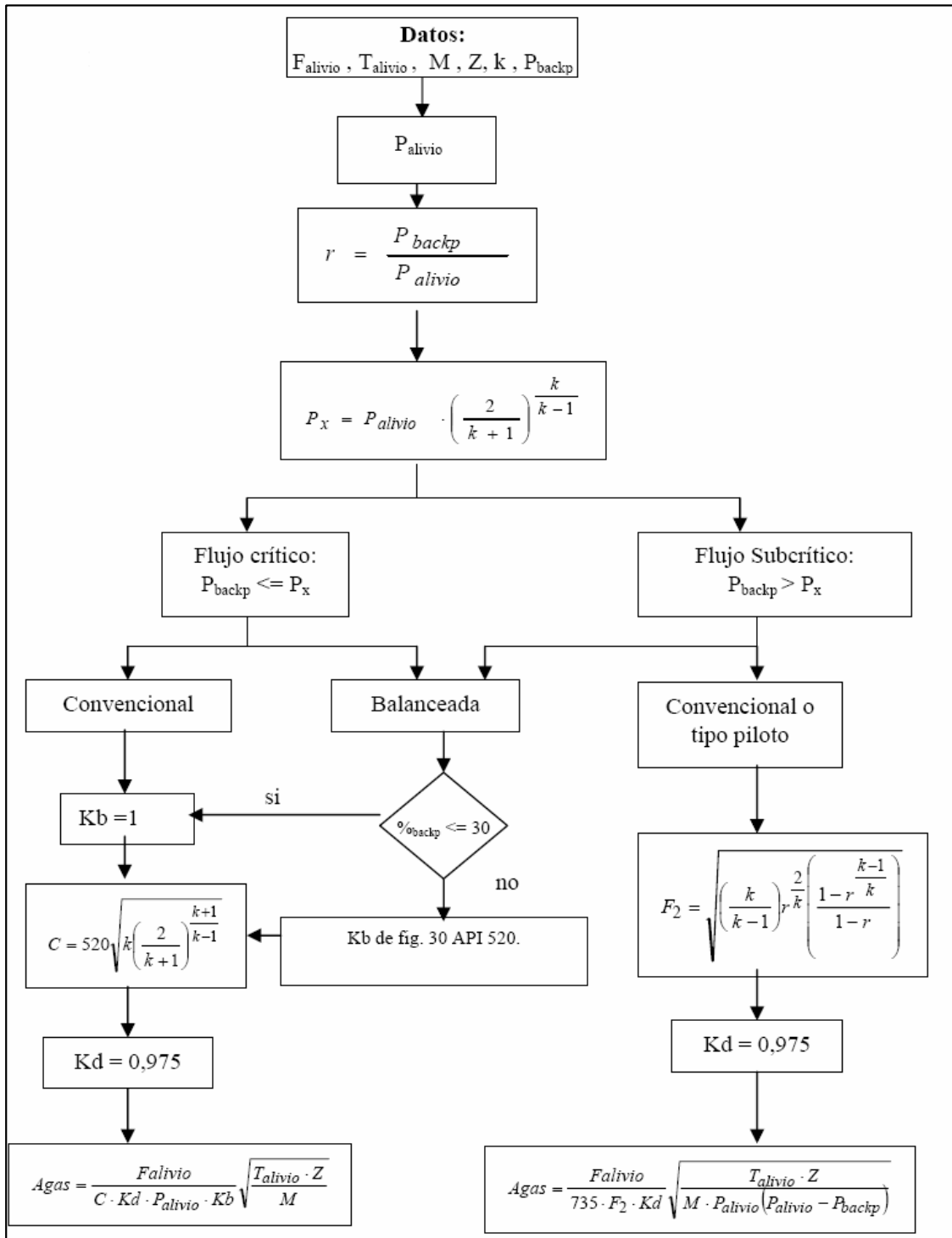


Figura 3.27 Procedimiento para dimensionar válvula de alivio de gases

### 3.2.6.2 Alivio de líquidos

El área requerida para líquidos se calcula con el siguiente procedimiento que se muestra en la figura 3.28 y en la tabla 3.6 se muestra una hoja elaborada en Excel donde se realiza todos los cálculos.

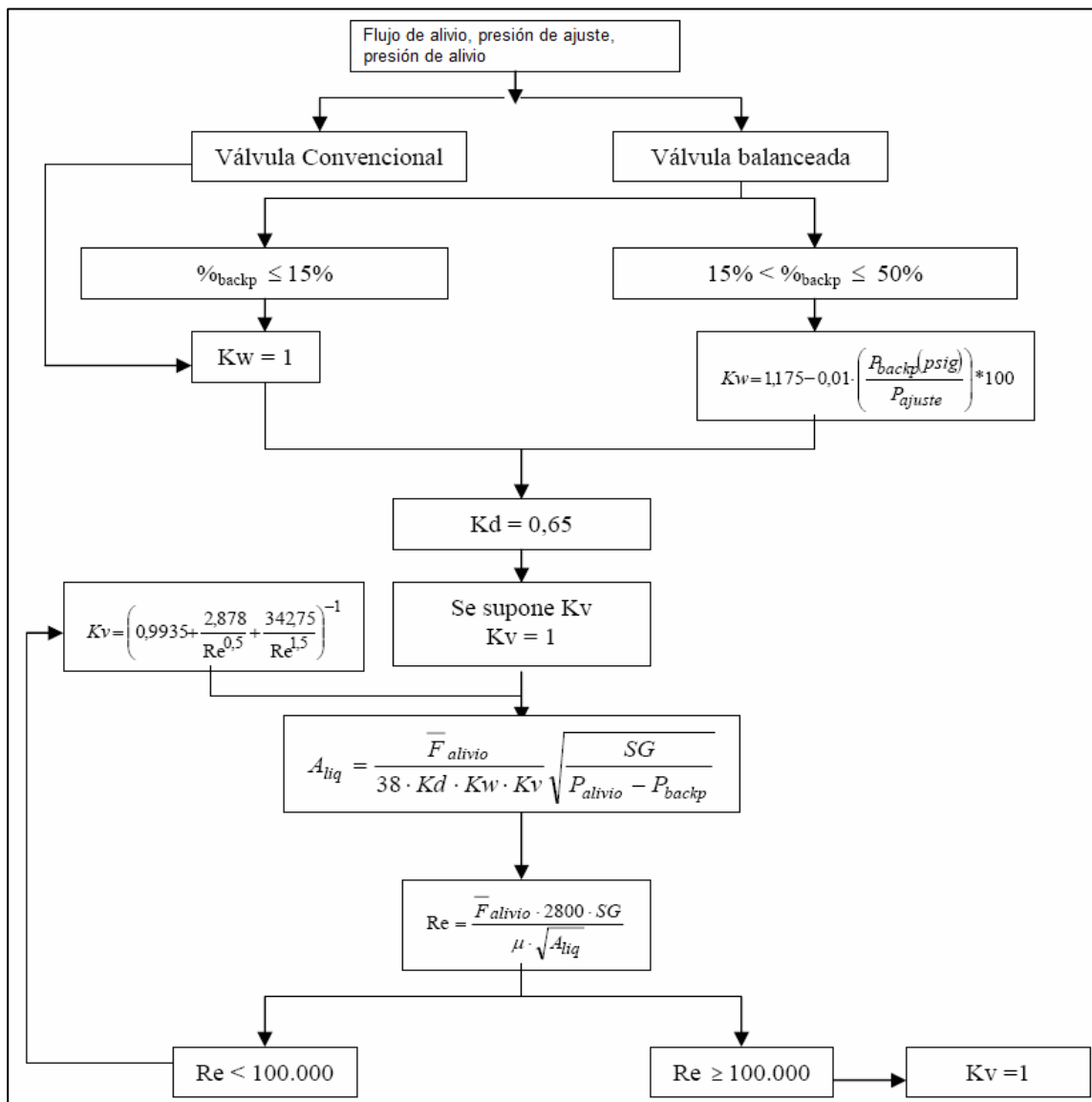


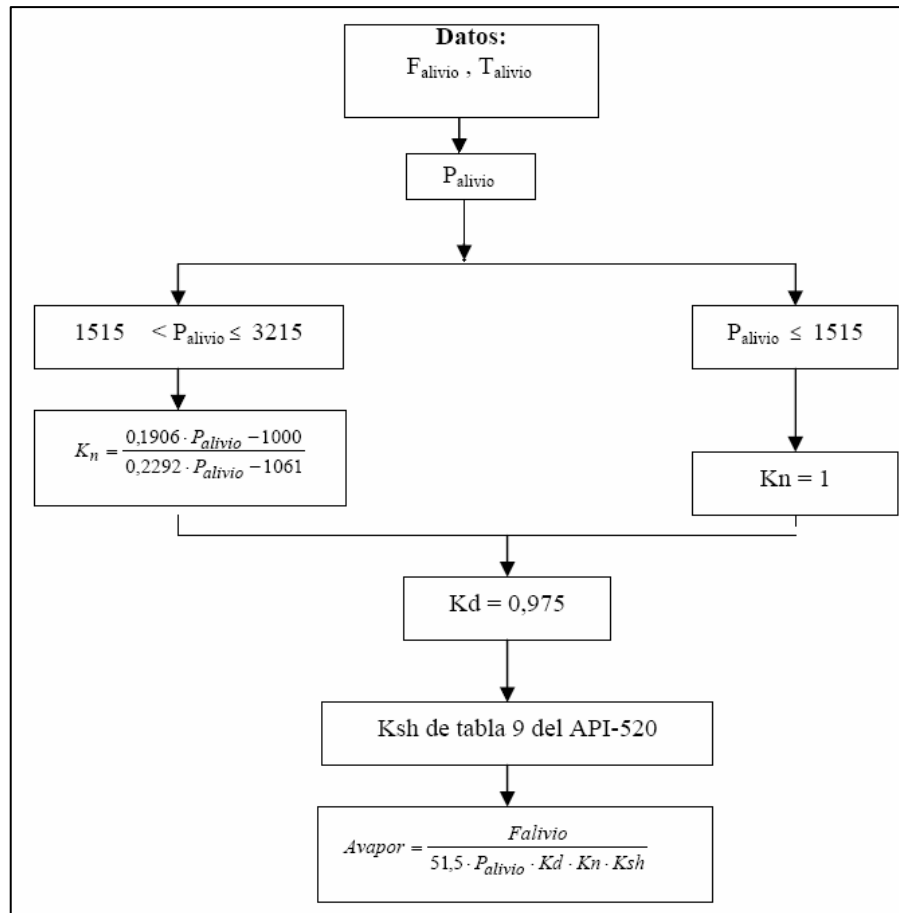
Figura 3.28 Procedimiento para dimensionar válvulas de alivio de líquido

**Tabla 3.6 Hoja de cálculo realizada para dimensionar válvulas de alivio de líquidos de intercambiadores**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
EQUIPO	F	Kd	Kw	Kv.sup	SG	P.alivio	P.backp	A.liq	VISCOSIDAD	Re	Kv
1 E-1A	11,736	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,047	0,318	386719,080	1,000
2 E-1B	12,231	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,049	0,343	3300324,529	1,000
3 E-1C	12,756	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,051	0,370	3053379,663	1,000
4 E-1D	13,310	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,054	0,406	2786199,535	1,000
5 E-1E	13,948	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,056	0,446	2535579,074	1,000
7 E-10A	12,108	0,650	0,675	1,000	0,814	729,700	664,700	0,081	0,098	6931250,154	1,000
8 E-10B	12,608	0,650	0,675	1,000	0,814	729,700	664,700	0,085	0,120	5651102,455	1,000
9 E-7A	30,590	0,650	0,675	1,000	0,814	729,700	664,700	0,205	0,154	4416531,307	1,000
10 E-7B	26,274	0,650	0,675	1,000	0,814	729,700	664,700	0,176	0,178	3818496,997	1,000
11 E-8	15,552	0,650	0,675	1,000	0,814	729,700	664,700	0,104	0,150	4520164,888	1,000
12 E-6A	10,383	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,042	0,234	4834735,463	1,000
13 E-6B	5,210	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,021	0,259	4365555,484	1,000
14 E-18	22,267	0,650	0,675	1,000	0,814	344,700	164,700	0,090	0,192	5893613,768	1,000
15 E-12D	0,581	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,004	0,539	1644231,758	1,000
16 E-12C	3,017	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,019	0,314	2821751,029	1,000
17 E-12F	9,896	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,063	0,190	4656927,697	1,000
18 E-12	9,896	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,063	0,190	4656927,697	1,000
19 E-12A	3,017	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,019	0,314	2821751,029	1,000
20 E-12B	0,584	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,004	0,539	1644231,758	1,000
21 E-4	3,590	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,023	0,241	3679882,210	1,000
22 E-5	0,658	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,004	0,512	1730990,127	1,000
23 E-11A	1,644	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,010	0,190	4656927,697	1,000
24 E-11B	0,024	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,000	0,737	1201665,511	1,000
25 E-2A	2,522	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,016	0,404	2194617,562	1,000
26 E-2B	1,812	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,011	0,484	1831949,634	1,000
27 E-3A	8,636	0,650	0,675	1,000	0,814	234,700	114,700	0,043	0,276	3343539,469	1,000
28 E-3B	3,486	0,650	0,675	1,000	0,814	234,700	114,700	0,017	0,340	2712386,179	1,000
29 E-101	23,512	0,650	0,675	1,000	0,738	256,700	124,700	0,105	0,200	4601428,286	1,000
30 E-102	15,961	0,650	0,675	1,000	0,738	256,700	124,700	0,072	0,128	7219482,311	1,000
31 E-104A	1,334	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,008	0,484	1831949,634	1,000
32 E-104B	0,353	0,650	0,675	1,000	1,000	179,700	89,700	0,002	0,692	1279427,485	1,000

### 3.2.6.3 Alivio de vapor de agua

El área requerida en caso de aliviar vapor de agua se calcula con el siguiente procedimiento: (ver figura 3.29)



**Figura 3.29 Procedimiento para dimensionar válvulas de alivio de vapor de agua.**

- Dimensionamiento de la válvula de alivio de la turbina de la bomba P-1A, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente para alivio de vapor de agua.

$$\text{flujo}_{\text{alivio}} = 79.510,06 \text{ lb/h}$$

$$\text{Presión}_{\text{alivio}} = 181,5 \times 1,1 + 14,7 = 214,35 \text{ psia}$$

$$\text{Kn} = 1$$

$$\text{Kd} = 0,975$$

Para determinar el Ksh (factor de corrección para vapor sobrecalentado) se necesita la temperatura de alivio y la presión de alivio, luego se busca en la tabla de la norma API 520, la cual se puede observar en los anexos A.13.

$$T_{\text{alivio}} = 495^\circ F$$

$$P_{\text{alivio}} = 234,7 \text{ psia}$$

$$\text{Ksh} = 0,95$$

$$A_{\text{vapor}} = \frac{79.510,06}{51,5 \times 214,35 \times 0,975 \times 1 \times 0,95} = 7,776 \text{ pulg}^2$$

Donde:

Ksh = factor de corrección por vapor sobrecalentado.

Kw = factor de corrección por contrapresión para líquido.

Kv = factor de corrección por viscosidad.

Kn = factor de corrección por la ecuación de Napier.

Kb = factor de corrección por contrapresión para gases.

Kd = coeficiente de descarga.

### 3.2.7 Tamaños comerciales API de válvulas de alivio

Una vez que se determina el tamaño del orificio requerido para proteger un equipo ante un posible evento de sobrepresión o contingencia, se debe

escoger el tamaño del orificio comercial superior más cercano al valor requerido.

En la tabla 3.8 se presentan los tamaños comerciales API que han de ser recomendados, luego del cálculo del área requerida. Por ejemplo, si se requiere una válvula de alivio de 1,653 pulg<sup>2</sup> entonces se va a recomendar la instalación de una válvula de tamaño “K”.

**Tabla 3.7 Tamaños comerciales API de válvulas de alivio**

Letra Designada	Área API del orificio de la válvula (in <sup>2</sup> )
D	0,11
E	0,196
F	0,307
G	0,503
H	0,785
J	1,287
K	1,838
L	2,853
M	3,6
N	4,34
P	6,38
Q	11,05
R	16
T	30,21

### 3.3 Proponer mejoras al sistema de alivio

Una vez realizado el estudio descrito anteriormente se elabora una simulación en Visual Flow de un nuevo cabezal de alivio, donde se corrigen

las desviaciones encontradas tal como lo indica la norma PDVSA, API 520,521; logrando así obtener las propuestas que pueden mejorar el sistema de alivio. (Ver figura 4.4)

## **CAPITULO IV**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 DISCUSION DE RESULTADOS**

En este capitulo se pueden visualizar los flujos de alivio de los equipos, los resultados arrojados por el simulador Visual Flow 5.2 del cabezal actual en planta y del nuevo cabezal donde se corrigen las desviaciones encontradas.

##### **4.1.1 Comparación de las condiciones actuales de operación con las establecidas por las normas API 520, 521 y PDVSA.**

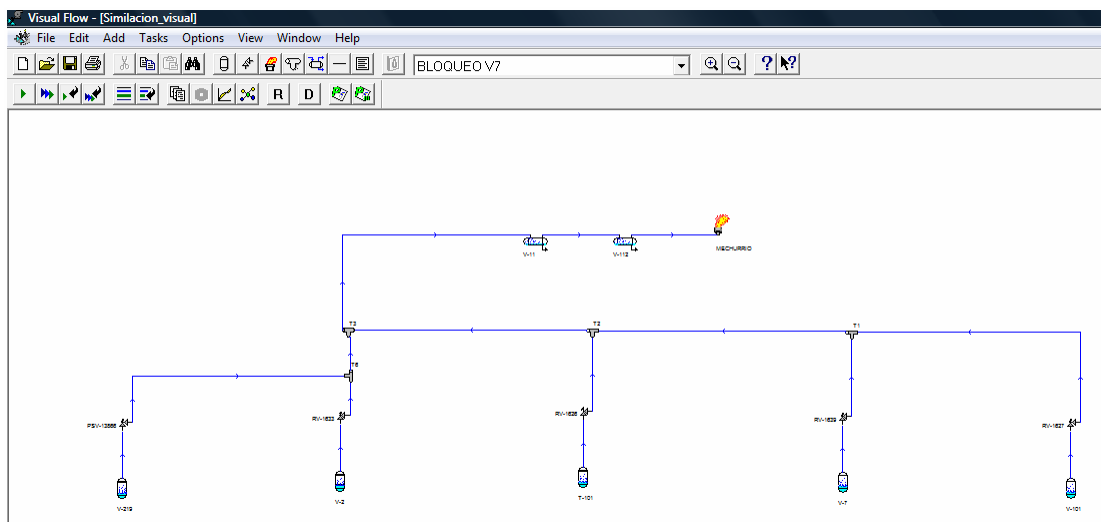
- Las válvulas que posee la torre fraccionadora V-3 alivian a la atmósfera, y las normas indican que solo se alivia a la atmósfera agua, aire o gases inertes.
- Actualmente en planta los intercambiadores de calor no están protegidos por válvulas de alivio; la norma señala que se evalúan por expansión térmica y rotura de tubos.
- Las bombas actuales en planta no poseen válvulas de alivio; en las normas se indica que se evalúan para proteger las mismas y equipos que se encuentren aguas abajo.
- Antes y después de cada válvula de alivio se instalan válvulas de bloqueo y venteos; actualmente en planta esto no se aplica.



- El tambor V-7 posee una presión de ajuste (22 psig) cercana a la de operación la cual es de 20 psig, esto genera que la válvula se active constantemente, si la presión de operación aumenta.

#### 4.1.2 Detectar las posibles fallas en el sistema de alivio de la refinería El Chaure

En la figura 4.1 se puede visualizar el esquema de simulación del cabezal de alivio actual en planta realizado en Visual Flow 5.2 y luego se presentan una serie de tablas donde se pueden observar los flujos de alivio para cada equipo dependiendo la contingencia que aplica y los resultados de contrapresión y área de válvula requeridas obtenidas de la simulación.



**Figura 4.1. Esquema de simulación (Visual Flow) del cabezal de alivio a condiciones actuales en planta.**

Los resultados de los flujos de alivio, contingencias que aplican, presión de ajuste de las válvulas y presión de diseño para cada recipiente conectado

al cabezal de alivio de la refinería son mostrados en la tabla 4.1 observándose que la torre T-101 es la que genera mayor flujo de alivio que los demás equipos y que la presión de ajuste de la válvula del tambor V-7 es menor a la presión de diseño del equipo.

**Tabla 4.1 Flujos de alivio y características de las válvulas conectadas actualmente al cabezal de alivio**

Equipo	Falla	TAG	Tipo válvula	Flujo alivio [lb/h]	Presión ajuste [psig]	Presión diseño [psig]
V-7	Bloqueo	Rv-1639	Balanceada	46,87	22	30
V-101	Bloqueo	Rv-1627	Balanceada	6.325,98	105	110
V-2	Bloqueo	Rv-1633	Balanceada	13.509	75	75
V-219	Bloqueo	Psv-13866	Piloto	6.378	125	125
T-101	Agua de enfriamiento	Rv-1626	Balanceada	39.312,99	110	110

Los resultados de la simulación en Visual Flow, para los porcentajes de contrapresión y área de válvula requerida para el flujo a aliviar son mostrados en la tabla 4.2 observándose los siguientes puntos resaltantes:

- Los porcentajes de contrapresión se encuentran en el rango indicado para válvulas balanceadas que corresponde el 50%, piloto 75% de la presión de ajuste, arrojando la mayor contrapresión el V-7 la cual es 24,14%.
- La válvula Rv- 1633 del tambor V-2 se encuentra sobrediseñada por poseer un área mayor tipo N (1,946 pulg<sup>2</sup>) a la requerida que es tipo L (4,34 pulg<sup>2</sup>).

- La válvula Rv- 1626 de la torre T-101 posee un área tipo N, mientras que manejando el mayor flujo que se da en falla de agua de enfriamiento sería suficiente usar una tipo M.
- El tambor V-7 tiene un área instalada mayor a la requerida, para el flujo de alivio en caso de bloqueo de la descarga

**Tabla 4.2 Resultados en Visual Flow de contrapresiones y áreas requeridas de los equipos que descargan actualmente al cabezal.**

Equipo	Falla	TAG	Tipo válvula	% Contrapresión	Área instalada [pulg <sup>2</sup> ]	Área requerida [pulg <sup>2</sup> ]
V-7	Bloqueo	Rv-1639	Balanceada	24,14	4,34	0,011
V-101	Bloqueo	Rv-1627	Balanceada	12,72	1,287	0,713
V-2	Bloqueo	Rv-1633	Balanceada	12,26	4,34	1,946
V-219	Bloqueo	Psv-13866	Piloto	19,68	1,287	1,146
T-101	Agua de enfriamiento	Rv-1626	Balanceada	20,49	4,34	2,996

Los flujos de alivio, presión de ajuste de la válvula y presión de diseño de los recipientes evaluados en caso de un incendio se pueden visualizar en la tabla 4.3 observándose que actualmente en caso de un incendio en la zona 1 se aliviaría mayor flujo.

**Tabla 4.3 Flujos de alivio y características de las válvulas en caso de incendio de los equipos conectados actualmente al cabezal de alivio**

Equipo	Zona	Falla	TAG	Tipo válvula	Flujo alivio [lb/h]	Presión ajuste [psig]	Presión diseño [psig]
V-7	1	Incendio	Rv-1639	Balanceada	10.476,01	22	30
V-101			Rv-1627	Balanceada	8.874,48	105	110
T-101	2	Incendio	Rv-1626	Balanceada	936,75	110	110

Los resultados de la simulación realizada para la evaluación en caso de fuego de los equipos, tales como contrapresión y área de válvula requerida son mostrados en la tabla 4.4 observándose los siguientes puntos:

- Para el caso de fuego se puede apreciar que el tambor V-7 es el que genera mayor contrapresión 36,07%; por poseer una válvula balanceada este resultado es aceptable.
- La válvula Rv-1639 del tambor V-7 posee un área mayor a la requerida tanto para falla de bloqueo como de fuego. Sería aceptable poseer una válvula de orificio tipo "L", y así cumplir con el área requerida por fuego donde se alivia mayor flujo. (Ver tablas 4.2, 4.3 y 4.4).

**Tabla 4.4. Resultados de la simulación Visual Flow de caso de fuego de los equipos conectados actualmente al cabezal de la DA-3**

Equipo	Zona	Falla	TAG	Tipo válvula	% Contrapresión	Área instalada [pulg <sup>2</sup> ]	Área requerida [pulg <sup>2</sup> ]
V-7	1	Incendio	Rv-1639	Balanceada	36,07	4,34	2,269
V-101			Rv-1627	Balanceada	13,86	1,287	0,706
T-101	2	Incendio	Rv-1626	Balanceada	4,77	4,34	0,061

Los flujos de alivio, presión de ajuste de la válvula y presión de diseño de los equipos V-3 la cual descarga a la atmósfera y la V-1 que descarga a la zona flash de la V-3, se observan en la tabla 4.5, notándose que el flujo de alivio de la torre V-3 es mayor cuando falla el reflujo y que las válvulas usadas son de tipo convencional.

**Tabla 4.5 Flujos de alivio y características de las válvulas de los equipos que no descargan al cabezal de alivio**

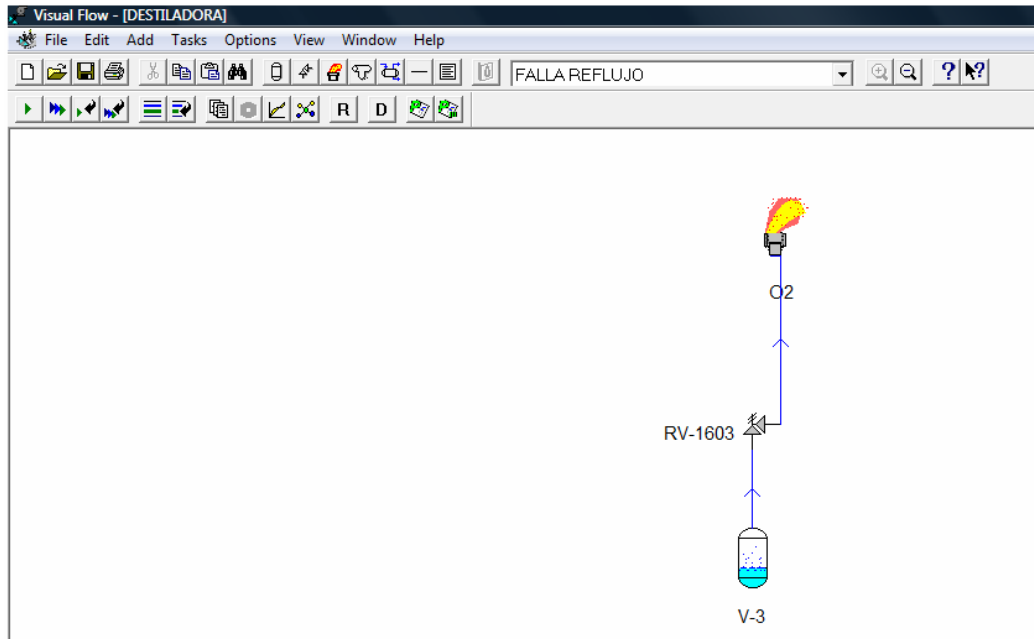
Equipo	Falla	TAG	Tipo válvula	Flujo alivio [lb/h]	Presión ajuste [psig]	Presión diseño [psig]
V-3	Agua de enfriamiento	Rv-1603	convencional	39.273,83	30	30
V-3	Reflujo	Rv-1603	convencional	92.487,52	30	30
V-1	Bloqueo	Rv-1641	convencional	17.543,23	55	75

Los resultados de la simulación, para los porcentajes de contrapresión y área de válvula requerida para el flujo a aliviar de los equipos que no descargan al cabezal del mechorrio son mostrados en la tabla 4.6 observándose que en los equipos V-3 y V-1 sus contrapresiones superan a lo aceptado por el tipo de válvula la cual es convencional. Para mayor precisión se tomaran en cuenta los establecidos en la simulación final donde son conectados al cabezal de alivio, como se muestra en la figura 4.4.

**Tabla 4.6 Resultados de la simulación Visual Flow de los equipos que no descargan al cabezal de alivio**

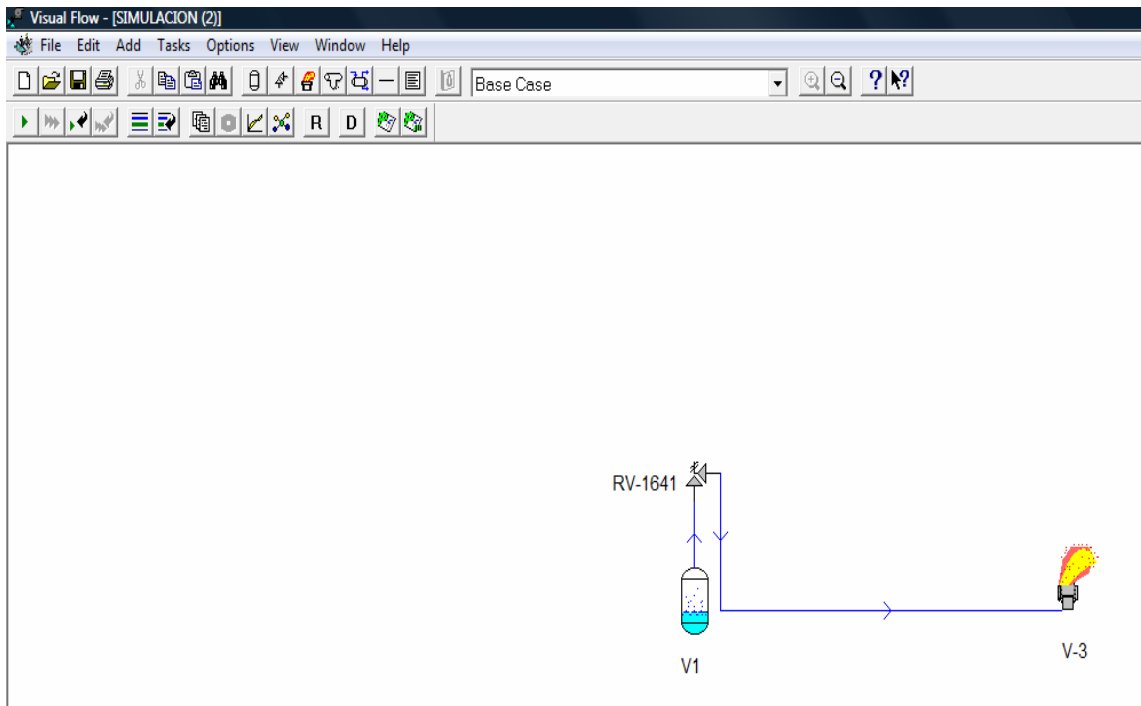
Equipo	Falla	TAG	Tipo válvula	% Contrapresión	Área instalada [pulg <sup>2</sup> ]	Área requerida [pulg <sup>2</sup> ]
V-3	Agua de enfriamiento	Rv-1603	convencional	18,14	11,05	6,897
V-3	Reflujo	Rv-1603	convencional	18,83	11,05	2,531
V-1	Bloqueo	Rv-1641	convencional	21,38	1,838	0,262

Se puede visualizar en las figuras 4.2 la manera como se pudo simular en Visual Flow el equipo V-3 cuyas válvulas de alivio descargan a la atmosfera, colocándose al mechurrio a presión atmosférica.



**Figura 4.2 Simulación Visual Flow de la V-3 actualmente en planta**

Para el caso del V-1 quien descarga en el fondo de la torre V-3, al mechurrio se le coloco la presión de operación de fondo del equipo V-3 como se muestra en la figura 4.3.



**Figura 4.3 Simulación Visual Flow de la V-1 actualmente en planta**

Para los intercambiadores evaluados por expansión térmica los cuales necesitan válvulas de alivio para su protección, con la finalidad de asegurar tanto al equipo como al personal que labora en planta a consecuencia de algún incidente o accidente, se muestran los resultados en la tabla 4.7 resaltándose los siguientes puntos:

- El intercambiador E-9A tiene un área tipo L y la válvula a usar es convencional, esto se debe a que el flujo de alivio es vapor de agua, y puede aliviar a la atmósfera.
- En la mayoría de los intercambiadores se tiene un área de letra D, mientras que el E-7A tiene un área E.

- Para los intercambiadores se colocan válvulas balanceadas, pero al no tener cual es la disposición final de la descarga de los mismos, pueden ser cambiadas a válvulas convencionales.
- Para el alivio térmico de los intercambiadores de calor se utilizarán las mismas válvulas de alivio que protegen a las bombas que se encuentren aguas arriba de los mismos.
- El intercambiador E-9A tiene el mayor flujo de alivio.

**Tabla 4.7 Resultados de expansión térmica en intercambiadores**

Equipo	Flujo alivio [gpm]	Presión ajuste [psig]	Área [pulg <sup>2</sup> ]	Letra	Tipo de válvula
E-1A	11,736	300	0,047	D	Balanceada
E-1B	12,231	300	0,049	D	Balanceada
E-1C	12,756	300	0,051	D	Balanceada
E-1D	13,31	300	0,054	D	Balanceada
E-1E	13,948	300	0,056	D	Balanceada
E-2A	2,522	150	0,016	D	Balanceada
E-2B	1,812	150	0,011	D	Balanceada
E-3A	8,636	200	0,043	D	Balanceada
E-3B	3,486	200	0,017	D	Balanceada
E-4	3,59	150	0,023	D	Balanceada
E-5	0,658	150	0,004	D	Balanceada
E-6A	10,383	300	0,042	D	Balanceada
E-6B	5,21	300	0,021	D	Balanceada
E-7A	30,59	650	0,205	E	Balanceada
E-7B	26,274	650	0,176	D	Balanceada
E-8	15,552	650	0,104	D	Balanceada
E-9A	35,332	150	2,722	L	convencional
E-9B	2,027	150	0,013	D	Balanceada
E-10A	12,108	650	0,081	D	Balanceada
E-10B	12,608	650	0,085	D	Balanceada
E-11A	1,644	150	0,01	D	Balanceada
E-11B	0,024	150	0,01	D	Balanceada
E-12A	3,017	150	0,019	D	Balanceada



E-12B	0,584	150	0,004	D	Balanceada
E-12C	3,017	150	0,019	D	Balanceada
E-12D	0,581	150	0,004	D	Balanceada
E-12E	9,896	150	0,063	D	Balanceada
E-12F	9,896	150	0,063	D	Balanceada
E-17	8,335	650	0,023	D	Balanceada
E-18	22,267	300	0,09	D	Balanceada
E-101	23,512	220	0,105	D	Balanceada
E-102	15,961	220	0,072	D	Balanceada
E-104A	1,334	150	0,008	D	Balanceada
E-104B	0,353	150	0,002	D	Balanceada
E-105	7,452	150	0,047	D	Balanceada

Los resultados de la evaluación de los intercambiadores por falla de rotura de tubos son mostrados en la tabla 4.8 observándose que los mismos generan mayor flujo de alivio que para expansión térmica, necesitándose para todas los intercambiadores válvulas balanceadas con un área de letra K. Se puede resaltar también que el intercambiador con mayor flujo de alivio (372,105 gpm) es el E-8.

**Tabla 4.8. Resultados de falla rotura de tubo de intercambiadores**

Equipo	Flujo [gpm]	Presión ajuste [psig]	Área [pulg <sup>2</sup> ]	Letra	Tipo válvula
E-8	372,105	75	1,838	K	Balanceada
E-10A	359,433	75	1,776	K	Balanceada
E-10B	361,704	75	1,787	K	Balanceada
E-12A	184,170	75	1,647	K	Balanceada
E-12B	184,190	75	1,647	K	Balanceada
E-12C	184,170	75	1,647	K	Balanceada
E-12D	184,190	75	1,647	K	Balanceada
E-12E	184,080	75	1,646	K	Balanceada
E-12F	184,080	75	1,646	K	Balanceada

Al evaluar las bombas se obtuvieron las condiciones de flujos de alivio, presión de ajuste, área, letra y tipo de válvula mostrados en la tabla 4.9, donde se visualiza que la P-9 tiene mayor flujo y para todas las bombas el tipo de letra del área de la válvula a usar es D.

**Tabla 4.9 Flujos de alivio y características de las válvulas de alivio para las bombas de la DA-3**

Bomba	Flujo de alivio [gpm]	Presión ajuste [psig]	Área válvula [pulg <sup>2</sup> ]	Letra	Tipo válvula
P-1/1A	17,315	200	0,086	D	Balanceada
P-5	6,963	150	0,040	D	Balanceada
P-6/6A	12,537	100	0,090	D	Balanceada
P-7/7A	8,353	200	0,042	D	Balanceada
P-9/9A	19,592	200	0,086	D	Balanceada

Los flujos de alivio, presión de ajuste, área, letra y tipo de válvula, que se deben usar en las turbinas de las bombas que necesitan ser protegidas por un aumento de la presión del vapor se observan en la tabla 4.10, notándose en la misma que la turbina de la bomba P-2A genera el mayor flujo de alivio. También se puede observar que las válvulas de las turbinas deberán ser de tipo convencional y dimensionadas para colocarlas a la entrada de la turbina.

**Tabla 4.10 Flujos de alivio y características de las válvulas de alivio de las turbinas.**

Turbina de equipo	Flujo alivio [lb/h]	Presión ajuste [psig]	Área [pulg <sup>2</sup> ]	Letra	Tipo de válvula
P-1A	79.510,06	181,5	7,776	Q	Convencional
P-2	41.847,4	181,5	4,093	N	Convencional
P-2A	104.618,5	181,5	10,232	Q	Convencional
P-6A	62.771,1	181,5	6,139	P	Convencional
P-7A	16.215,87	181,5	1,586	K	Convencional
P-9A	52.309,25	181,5	5,116	P	Convencional
P-101A	31.385,55	181,5	3,069	M	Convencional
P-102A	15.692,78	181,5	1,535	K	Convencional
P-103A	26.154,63	181,5	2,558	L	Convencional

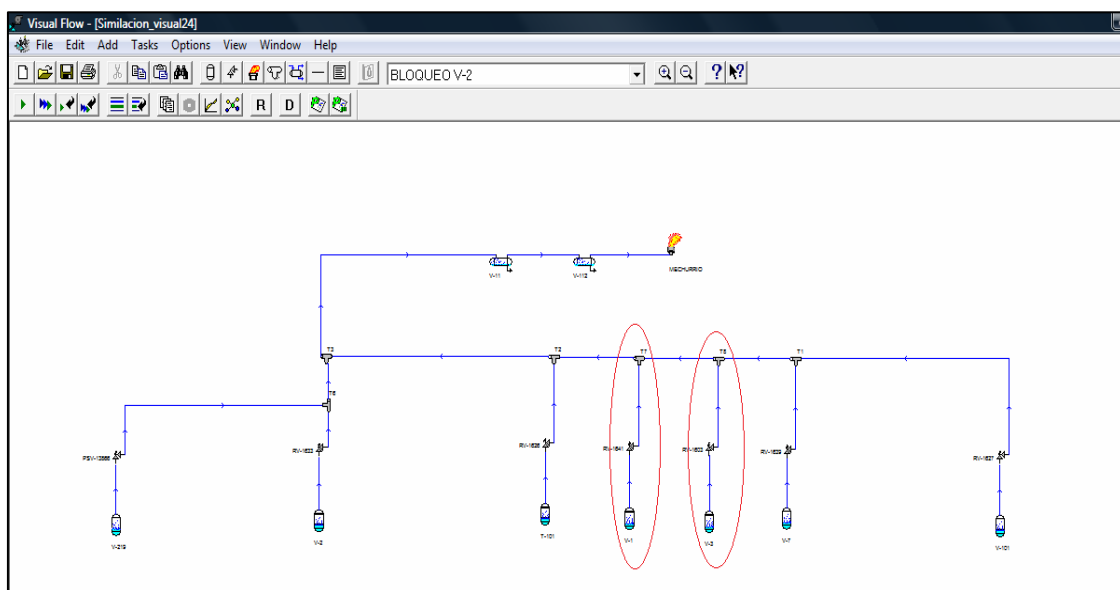
#### 4.1.3 Proponer mejoras al sistema de alivio

El diagrama de la simulación en Visual Flow del nuevo cabezal que contiene todas las correcciones de las desviaciones presentadas en el sistema de alivio actual es mostrado en la figura 4.4.

#### **4.1.3.1 Condiciones bajo las cuales se realizo la simulación en Visual Flow 5.2 del nuevo cabezal de alivio.**

- Para la simulación no varia el flujo, composición y condiciones de alivio.
- La presión de ajuste de la válvula Rv-1639 del tambor V-7 es de 22 psig actualmente, para la simulación final fue cambiada a 27 psig, para evitar que la válvula se active al haber un aumento de la presión de operación.
- Para todas las válvulas de alivio conectadas al cabezal fueron agregadas válvulas de bloqueo antes y después de cada válvula como lo indican las normas.
- El tambor pre-flash V-1 posee una válvula de alivio que alivia a la V-3, la cual debería descargar al cabezal de alivio para el arreglo permitido por el simulador ya que el mismo no permite conectar una válvula de alivio que descargue en un equipo sino al cabezal hasta llegar al mechurrio. Pero por requerimiento y diseño original de refinería alivia a la zona flash de la torre V-3, con el fin de aprovechar los hidrocarburos en caso de una contingencia.
- Las válvulas de la torre fraccionadora V-3 y pre- flash V-1 fueron conectadas al cabezal de alivio y sus válvulas fueron cambiadas a válvulas balanceadas, para que puedan soportar mayor contrapresión.
- La torre V-3 posee tres válvulas de alivio y para la simulación en Visual Flow se tomo solo la Rv- 1603 ya que el simulador permite colocar solo una, considerándose el 16 % de sobrepresión en válvulas múltiples.
- La válvula Rv-1603 de la V-3 y las demás válvulas de la torre se conectan a un múltiple el cual es conectado de 8 pulg de diámetro y luego a una tubería de 12 pulg hasta conectar al cabezal.

- Para las válvulas de la torre fraccionadora se conserva el mismo tipo de área “Q” ya que la diferencia de la requerida es poca y así se asegura que se pueda manejar un posible aumento de flujo.
- Para el tambor V-219 se le cambia la válvula piloto por una balanceada conservando la misma presión de ajuste, así se ajusta al requerimiento.
- La válvula Rv-1626 de la torre T -101 es cambiada por un área de tipo M.
- Para el V-7 se conserva el mismo tipo de área N, por no tener mucha diferencia y así se descarga sin problemas algún aumento de flujo.
- El paquete termodinámico usado en las simulaciones en Visual Flow es Soave-Redlich-Kwong



**Figura 4.4. Simulación Visual Flow del nuevo cabezal de alivio como lo indican las normas.**

Los resultados de los flujos de alivio, contingencias que aplican, presión de ajuste de las válvulas y presión de diseño para cada recipiente conectado al nuevo cabezal de alivio de la refinería son mostrados en la tabla 4.11 notándose que la torre fraccionadora V-3 generará mayor flujo de alivio en

falla del reflujo para el nuevo cabezal. Las válvulas de los equipos V-219, V-1 y V-3 son válvulas nuevas del tipo balanceada como se indicó anteriormente en las consideraciones.

**Tabla 4.11 Flujos de alivio y características de las válvulas de alivio del nuevo cabezal de alivio**

Equipo	Falla	TAG	Tipo válvula	Flujo alivio [lb/h]	Presión ajuste [psig]	Presión diseño [psig]
V-7	Bloqueo	Rv-1639	Balanceada	46,87	27	30
V-101	Bloqueo	Rv-1627	Balanceada	6.325,98	105	110
V-2	Bloqueo	Rv-1633	Balanceada	13.509	75	75
V-219	Bloqueo	Psv-13866	Balanceada nueva	6.378	125	125
T-101	Agua de enfriamiento	Rv-1626	Balanceada	39.312,99	110	110
V-1	Bloqueo	Rv-1641	Balanceada nueva	17.543,23	55	75
V-3	Agua	Rv-1603	Balanceada nueva	39.273,83	30	30
V-3	Reflujo	Rv-1603	Balanceada nueva	92.487,52	30	30

Los resultados de la simulación en Visual Flow, para los porcentajes de contrapresión y área de válvula requerida para el flujo a aliviar para el nuevo cabezal de alivio son mostrados en la tabla 4.12, donde se observa que las contrapresiones son aceptables para el tipo de válvula usada, reportándose la mayor contrapresión en la Rv-1603 de 44,36% y las áreas de las válvulas están acordes para descargar el flujo de alivio manejado.

**Tabla 4.12 Resultados de la simulación Visual Flow para el nuevo cabezal de alivio.**

Equipo	Falla	TAG	Tipo válvula	% Contrapresión	Área instalada [pulg <sup>2</sup> ]	Área requerida [pulg <sup>2</sup> ]
V-7	Bloqueo	Rv-1639	Balanceada	19,67	4,34	0,011
V-101	Bloqueo	Rv-1627	Balanceada	12,91	1,287	0,713
V-2	Bloqueo	Rv-1633	Balanceada	12,33	4,34	1,958
V-219	Bloqueo	Psv-13866	Balanceada nueva	19,63	1,287	1,153
T-101	Agua de enfriamiento	Rv-1626	Balanceada	17,7	3,6	2,658
V-1	Bloqueo	Rv-1641	Balanceada nueva	11,39	1,838	0,242
V-3	Agua	Rv-1603	Balanceada nueva	44,36	11,05	6,828
V-3	Reflujo	Rv-1603	Balanceada nueva	18.63	11,05	2,594

Los flujos de alivio, presión de ajuste de la válvula y presión de diseño de los recipientes evaluados en caso de un incendio para el nuevo cabezal de alivio se pueden visualizar en la tabla 4.13 observándose que la zona 1 genera mayor flujo de alivio.

**Tabla 4.13 Flujos de alivio y características de las válvulas en caso de incendio de los equipos conectados actualmente al nuevo cabezal de alivio**

Equipo	Caso	Falla	TAG	Tipo válvula	Flujo alivio [lb/h]	Presión ajuste [psig]	Presión diseño [psig]
V-7	1	Incendio	Rv-1639	Balanceada	10.476,01	27	30
V-101			Rv-1627	Balanceada	8.874,48	105	110
T-101	2	Incendio	Rv-1626	Balanceada	936,75	110	110
V-1	3	Incendio	Rv-1641	Balanceada	4.632,29	55	75
V-3			Rv-1603	Balanceada	2.234,33	30	30

Los resultados de la simulación realizada del nuevo cabezal de alivio para la evaluación en caso fuego de los equipos, tales como contrapresión y área de válvula requerida son mostrados en la tabla 4.14, observándose que las contrapresiones son aceptables para el tipo de válvula balanceada y que el área de las válvulas es capaz de aliviar el flujo manejado.

**Tabla 4.14 Resultados de la simulación Visual Flow de los casos fuego del nuevo cabezal de alivio.**

Equipo	Caso	Falla	TAG	Tipo válvula	% Contrapresión	Área instalada [pulg <sup>2</sup> ]	Área requerida [Pulg <sup>2</sup> ]
V-7	1	Incendio	Rv-1639	Balanceada	30,34	4,34	1,995
V-101			Rv-1627	Balanceada	14,66	1,287	0,731
T-101	2	Incendio	Rv-1626	Balanceada	4,77	3,6	0,061
V-1	3	Incendio	Rv-1641	Balanceada	11.17	1,838	0,537
V-3			Rv-1603	Balanceada	18.24	11,05	0,389

Para todo el cabezal, las velocidades están por debajo del flujo sónico por lo cual son aceptables ya que la norma PDVSA indica que pueden ser tan altas hasta un 75% para evitar problemas de vibración y ruptura de la tubería. Observar resultados en la tabla 4.15 del flujo sónico resultantes de la simulación en Visual Flow de la torre V-3 para pérdida de reflujo.



**Tabla 4.15 Resultados de flujo sónico para falla de pérdida de reflujo de la torre V-3**

Name	Actual Velocity (ft/sec)	Sonic Velocity (ft/sec)
*RV-1603<->T8*	29,60	203,70
*RV-1603<->T8*	29,60	203,70
*RV-1603<->T8*	29,61	203,72
*RV-1603<->T8*	29,70	203,86
*RV-1603<->T8*	29,70	203,86
*RV-1603<->T8*	29,71	203,88
*RV-1603<->T8*	29,85	204,09
*RV-1603<->T8*	12,98	203,56
*RV-1603<->T8*	12,98	203,56
*RV-1603<->T8*	12,99	203,58
*RV-1603<->T8*	12,85	203,10
*RV-1603<->T8*	12,85	203,10
*RV-1603<->T8*	12,70	202,59
*RV-1603<->T8*	12,71	202,64
*RV-1603<->T8*	12,71	202,64
*RV-1603<->T8*	12,71	202,65
*RV-1603<->T8*	12,67	202,50
*RV-1603<->T8*	12,67	202,50
*RV-1603<->T8*	12,62	202,31
*RV-1603<->T8*	12,63	202,37
*RV-1603<->T8*	12,63	202,37
*RV-1603<->T8*	12,64	202,39
*RV-1603<->T8*	12,68	202,53
*RV-1603<->T8*	12,68	202,53
*RV-1603<->T8*	12,70	202,63
*RV-1603<->T8*	12,72	202,70
*RV-1603<->T8*	12,72	202,70
*RV-1603<->T8*	12,73	202,73
*RV-1603<->T8*	12,74	202,77
*RV-1603<->T8*	12,74	202,77
*RV-1603<->T8*	12,75	202,78
*RV-1603<->T8*	12,68	202,55
*RV-1603<->T8*	12,68	202,55
*RV-1603<->T8*	12,60	202,28
*RV-1603<->T8*	12,63	202,38
*RV-1603<->T8*	12,63	202,38
*RV-1603<->T8*	12,65	202,45
*RV-1603<->T8*	12,61	202,32
*RV-1603<->T8*	12,61	202,32
*RV-1603<->T8*	12,57	202,17

**Tabla 4.15 Resultados de flujo sónico para falla de pérdida de reflujo de la torre V-3 (continuación)**

*RV-1603<->T8*	12,59	202,25
*RV-1603<->T8*	12,59	202,25
*RV-1603<->T8*	12,60	202,29
*RV-1603<->T8*	12,62	202,35
*RV-1603<->T8*	12,62	202,35
*RV-1603<->T8*	12,62	202,37
*RV-1603<->T8*	12,64	202,42
*RV-1603<->T8*	12,64	202,42
*RV-1603<->T8*	12,64	202,44
*RV-1603<->T8*	12,68	202,60
*T2<->T3*	5,01	202,64
*T2<->T3*	5,01	202,64
*T2<->T3*	5,01	202,66
*T2<->T3*	5,01	202,67
*T3<->V-11*	5,02	202,70
*T3<->V-11*	5,02	202,70
*T3<->V-11*	5,02	202,72
*T3<->V-11*	5,02	202,74
*T3<->V-11*	5,02	202,74
*T3<->V-11*	5,02	202,75
*T3<->V-11*	5,02	202,75
*T3<->V-11*	5,02	202,75
*T3<->V-11*	5,02	202,76
*T3<->V-11*	5,01	202,68
*T3<->V-11*	5,01	202,68
*T3<->V-11*	5,00	202,59
*T3<->V-11*	5,01	202,60
*T7<->T2*	5,01	202,62
*T7<->T2*	5,01	202,62
*T7<->T2*	5,01	202,62
*T7<->T2*	5,01	202,63
*T8<->T7*	5,01	202,60
*T8<->T7*	5,01	202,60
*T8<->T7*	5,01	202,60
*T8<->T7*	5,01	202,61
*V-11<->V-112*	49,20	599,67
*V-11<->V-112*	49,20	599,67
*V-11<->V-112*	49,21	599,68
*V-11<->V-112*	49,34	599,72
*V-11<->V-112*	49,34	599,72
*V-11<->V-112*	49,44	599,75
*V-11<->V-112*	49,50	599,78
*V-11<->V-112*	49,50	599,78
*V-11<->V-112*	49,53	599,78
*V-11<->V-112*	49,68	599,83
*V-11<->V-112*	49,68	599,83
*V-11<->V-112*	49,78	599,86
*V-11<->V-112*	49,82	599,88
*V-11<->V-112*	49,82	599,88
*V-11<->V-112*	49,83	599,89
*V-11<->V-112*	50,05	599,97
*V-11<->V-112*	50,05	599,97
*V-11<->V-112*	50,25	600,04
*V-11<->V-112*	50,25	600,04

Según la norma API 520, para todas las válvulas de alivio las pérdidas de presión total no recuperable de la línea de entrada a cada válvula, el valor permitido debe ser igual o menor que el 3% de la presión de ajuste de la válvula; El simulador Visual Flow al detectar que se ha superado este porcentaje, muestra registro de las caídas de presiones de lo contrario no son mostrados, tal como ocurrió en las simulaciones realizadas, por lo tanto las caídas de presiones manejadas no superaron el 3%.

#### **4.1.3.2 Propuestas para las mejoras**

1. Conectar las válvulas de alivio de la torre V-3 al cabezal a presiones de ajuste de 26 psig, 28 psig y 30 psig.
2. Conectar la válvula de alivio del tambor Pre-flash V-1 al cabezal de alivio, también puede quedar como esta en planta para aprovechar los hidrocarburos, solo se debe cambiar la válvula por una balanceada.
3. Instalar válvulas de bloqueo antes y después de cada válvula de alivio
4. Se deben instalar venteos entre las válvulas de alivio y de bloqueo para presurización
5. Se deben cambiar las válvulas de alivio de la torre V-3 por unas tipo balanceadas con área Q
6. Cambiar válvula del recipiente V-219 por una balanceada con área J y presión de ajuste a 125 psig.
7. Subir la presión de ajuste de la válvula del tambor V-7 a 27 psig.

8. Durante una parada de planta se deben llevar las válvulas de alivio a un banco de prueba para así tener información confiable de las características y sobre todo de la capacidad de las válvulas, existentes en planta.
9. Colocar las válvulas de alivio a las bombas para así tener protección no solo para ellas sino para los intercambiadores aguas abajo.
10. En cuanto a las bombas que según la evaluación requieran ser equipadas con válvula de alivio, serán instaladas con recirculación entre descarga y succión, a fin de aliviar los aumentos de presión producto de un cierre de válvula aguas abajo.
11. Es importante que los intercambiadores que no estén protegidos con las válvulas que protegen a las bombas estén protegidos con válvulas de alivio y se debería estudiar con atención la disposición final del alivio.
12. Recircular los desfogues líquidos de los intercambiadores directamente al proceso, de no ser posible, enviarlos a tanques de almacenamiento para su posterior recuperación.
13. Proteger las turbinas con las válvulas de alivio a la entrada ya que las mismas no están diseñadas para un posible aumento de la presión del vapor.
14. La carga de alivio de las turbinas puede aliviar a la atmosfera.

15. Tener en cuenta lo descrito en el capítulo II sobre el mal funcionamiento de las válvulas de seguridad.

## 4.2 CONCLUSIONES

1. Muchos de los equipos no cumplen con lo establecido por las normas, tales como el caso de la torre V-3 que descarga a la atmósfera, intercambiadores y bombas sin protección.
2. En planta actualmente las turbinas de las bombas P-101A, P-102A y P-103A tienen válvulas de alivio a la descarga de la turbina, estas fueron diseñadas con otro criterio de evaluación y están indicadas en las normas.
3. El caso fuego en la refinería se podría considerar como el escenario menos crítico, debido a que los equipos (V-1, V-3, T-101) poseen faldones con aislamiento térmico y a prueba de fuego y chorro de agua, mas se suma su altura; a parte de esto la planta posee puntos de drenaje de forma que el incendio sea sectorizado y no hay brocales que puedan confinar los líquidos.
4. En la simulación final se colocaron las respectivas válvulas de bloqueo antes y después de las válvulas de alivio.
5. En la gran mayoría de los intercambiadores su flujo de alivio esta en fase líquida a excepción del E-9A
6. En los intercambiadores E-12, E-10 y el E-8 se dimensionan sus válvulas para rotura de los tubos ya que en esta contingencia se alivia mayor flujo.
7. En la simulación final se cambiaron las válvulas de los equipos V-3, V-1, V-219 por válvulas de tipo balanceadas.
8. La válvula de alivio de la bomba P-1/1A protegerá los intercambiadores E-3A/B y los E-1A/B/C/D/E lado tubo. La válvula de alivio de la bomba P-

7/7A protegerá al intercambiador E-8 lado carcaza y E-9A/B. La válvula de alivio de la bomba P-6/6A protegerá los intercambiadores E-7A/B y E-6A/B lado carcaza. La válvula de alivio de la bomba P-9/9A protegerá los intercambiadores E-10A/B lado tubo y E-17. La válvula de alivio de la bomba P-5 protegerá a los intercambiadores E-1A/B/C/D/E lado carcaza y los E-2A/B lado tubo.

9. Las válvulas de alivio a la entrada protegerán a las turbinas de un aumento de flujo de vapor y descargarán a la atmósfera.
10. Para el cabezal actual el mayor flujo a quemar en el mechurrio es 39.312,99 lb/h el cual lo genera la torre T-101 en falla de agua de enfriamiento.

#### **4.3 RECOMENDACIONES**

1. Se deberán instalar venteos entre la válvula de alivio y las válvulas de bloqueo.
2. Las válvulas de bloqueo instaladas entre las válvulas de alivio deberán ser convertidas en válvulas “CSO” cuando la planta este en operación y “CSC” cuando se disponga a realizarse un mantenimiento.
3. Las válvulas del tipo CSO deben ser del tamaño de la línea, de operación manual y del modelo de bola, compuerta o tapón.
4. Las válvulas de bloqueo instaladas en posición horizontal tendrán sus vástagos orientados horizontalmente o si esto no es factible a un máximo de 45° desde la horizontal.
5. Aplicar o fijarse procedimientos estrictos de manejo que prohíban el cierre inadvertido de las válvulas de aislamiento en las tuberías de alivio.
6. Es importante hacer la conexión de las válvulas de alivio de la torre V-3 al cabezal.

7. Colocar las válvulas de alivio de las bombas para proteger los intercambiadores de calor aguas abajo, para evitar cualquier incidente en planta.
8. En los intercambiadores para la contingencia rotura de tubos, si el lado de alta presión va por la carcasa la válvula se coloca en los tubos y si el flujo de alta va por los tubos se coloca en la carcasa.
9. Durante una parada de planta se recomienda llevar las válvulas de alivio a un banco de prueba para así tener información confiable de las características y sobre todo de la capacidad de las válvulas.
10. Hacerle su respectivo mantenimiento a cada válvula, para así alargar su vida útil y tener una mejor eficiencia.
11. Proponer un estudio completo para un nuevo diseño del flare para determinar si se debe o no reemplazar el actual.
12. Cuando el área de descarga requerida no se puede obtener comercialmente en una sola válvula, utilizar un sistema de válvulas múltiples.
13. Hacer un estudio para la correcta disposición final del alivio de los intercambiadores ya que el mismo debería quedar en el proceso.

## BIBLIOGRAFIA

- ❖ American Petroleum Institute recommended practice 520 “**Guide for sizing, selection, and installation of pressure-relieving devices in Refineries**” fourth edition, (2008).
- ❖ American Petroleum Institute recommended practice 521 “**Guide for pressure-relieving and depressuring systems**” fourth edition, (2008).
- ❖ Borrell J., “**Evaluación del sistema de alivio de la unidad de destilación atmosférica DA-1 de la refinería de Puerto La Cruz**”. Tesis de grado. Universidad Simón Bolívar. Dpto de Ing Química. (2005).
- ❖ Centec de Venezuela, Equipos y Servicios para la Industria Petrolera y Afines “**Válvulas de alivio**”. (1986).
- ❖ Información de la seguridad de los procesos unidad DA-3, “**Descripción del proceso**”, Departamento de ingeniería de proceso, (2007).
- ❖ Manual de diseño de proceso, seguridad en el diseño de plantas y sistemas de alivio de presión “**Instalación de válvulas de alivio de presión**” PDVSA N° MDP-08-SA-05, (1995).
- ❖ Manual de diseño de proceso, seguridad en el diseño de plantas y sistemas de alivio de presión “**Procedimientos para especificar y dimensionar válvulas de alivio de presión**” PDVSA N° MDP-08-SA-04, (1997).
- ❖ Manual de Diseño de Proceso, Seguridad en el Diseño de Plantas, Sistemas de Alivio de Presión “**Consideraciones de contingencias y determinación de los flujos de alivio**” PDVSA N°MDP-08-SA-02, (1995).
- ❖ Manual de diseño de proceso, “**Sistema de alivio**” PDVSA N° 90616.1.022, (1990).
- ❖ Manual de visual flow.



- ❖ Martínez G., **“Estudios y cálculos para la instalación de un sistema de alivio cerrado en la refinería el Chaure”**. Tesis de grado Universidad de Oriente. Dpto de Ing Mecánica, **(1980)**.
- ❖ PDVSA, **“Libro de Refinería Puerto La Cruz Gerencia General de Refinación”**. Mayo **(2006)**.
- ❖ **“Prácticas de Diseño PDVSA”**. Tomo N° 9. **(1981)**.
- ❖ **“Pro/II Input Manual versión 8.1”**, Editado por Simulación Sciences Inc. USA **(2007)**.
- ❖ Renzulli V., **“Evaluación de las válvulas de alivio de presión de la unidad de craqueo catalítico fluidizado de la refinería Puerto La Cruz PDVSA”**. Tesis de grado. Universidad de Oriente. Dpto de Ing Química. **(2008)**.
- ❖ Sequera I., **“Evaluación el sistema de alivio cerrado de las unidades de destilación atmosférica N° 1 y 2 y craqueo catalítico de la refinería de Puerto La Cruz”**. Tesis de grado. Universidad Simón Bolívar. Dpto de Ing Química. **(1996)**.
- ❖ William A, **“Mal funcionamiento de las válvulas de seguridad”**, **(1981)**.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIVIO DE LA REFINERÍA EL CHAURE”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Castro G Quelin A	<b>CVLAC:</b> 16.998.997 <b>E MAIL:</b> quelin_cg@hotmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Sistema de alivio

Contingencias

Contrapresión

Caída de presión

Flujo sónico

Refinería puerto la cruz

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

**RESUMEN (ABSTRACT):**

El presente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el sistema de alivio de la refinería El Chaure para su actualización y mejora, haciendo uso de herramientas tales como simulador de procesos Pro II y Visual Flow. El primero tiene como objetivo determinar el flujo y la composición del alivio, los datos para determinar el área de las válvulas. El segundo la evaluación hidráulica del cabezal de alivio actual, verificando si las válvulas eran las adecuadas. Después de este estudio y con la determinación de las posibles fallas que pudieran generar sobrepresiones, tales como salida bloqueada en recipientes y bombas; rotura de tubos, expansión térmica en intercambiadores de calor; pérdida del reflujo, falla de agua de enfriamiento en torres y caso fuego donde se generan las zonas de incendio que cubren los recipientes y torres. Se llegó a simular todo un nuevo cabezal que cumple con lo establecido por las normas API 520, 521, normas PDVSA, y requerimientos de refinería, una de las cuales es colocar válvulas de bloqueo y purga antes y después de cada válvula de alivio. Todos los equipos para los cuales su carga de alivio no sea agua, vapor de agua, o gases no tóxicos ni inflamables deben estar conectados al cabezal de alivio, para lograr así un óptimo sistema, que pueda prestar protección a los equipos y seguridad al personal que labora en dicha planta.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Salas Yraima</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS (X)</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Troyer Sonia</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU (X)</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Arturo Rodulfo</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU (X)</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Moreno Luis</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU(X)</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b><u>2010</u></b>	<b><u>10</u></b>	<b><u>14</u></b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE: SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
<b>TESIS.Evaluacion.Alivio.Refineria.doc</b>	<b>Application/msword</b>

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F  
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r  
s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.**

**ESPACIAL: Refinería Puerto La Cruz (OPCIONAL)**

**TEMPORAL: 6 meses (OPCIONAL)**

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Ingeniero Químico**

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Pre-Grado**

**ÁREA DE ESTUDIO:**

**Departamento de Ingeniería Química.**

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS:**

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

**“Los Trabajos de Grado son de Exclusiva Propiedad de la Universidad de Oriente y Solo Podrán ser Utilizados para Otros Fines con el Consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, el Cual Participara al Consejo Universitario”.**

---

**Castro G Quelin A  
AUTOR(ES)**

---

**Salas Yraima  
TUTOR**

---

**Arturo Rodulfo  
JURADO**

---

**Moreno Luis  
JURADO**

---

**Salas Yraima  
POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**