

**REVISIÓN HIDRAULICA Y ACTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE  
RELEVO A LA TEA N°7 DE LA PLANTA DE CRACKING CATALITICO UOP  
II, COMPLEJO BARRANCABERMEJA (ECOPETROL S.A.)**

**IVÁN DARÍO BELLO ZAPATA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

**REVISIÓN HIDRAULICA Y ACTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE  
RELEVO A LA TEA N°7 DE LA PLANTA DE CRACKING CATALITICO UOP  
II, COMPLEJO BARRANCABERMEJA (ECOPETROL S.A.)**

**IVÁN DARÍO BELLO ZAPATA**

**Trabajo de grado en modalidad de practica industrial para optar el título  
de Ingeniero Químico.**

**DIRECTOR:  
DR. MARIO ÁLVAREZ CIFUENTES  
PROFESOR UIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

*Este libro se lo dedico a mis padres, Arcesio Bello y Elvira Zapata, por su apoyo durante mi vida, mi carrera y mi formación como una persona de bien.*

*A mis hermanos Juan Bello, Andrés Bello y Lina Bello por su apoyo incondicional y su paciencia.*

*A los funcionarios de Ecopetrol S.A. que me brindaron su ayuda y apoyo para el cumplimiento de este proyecto.*

*Y por ultimo pero no menos importante a mis amigos y compañeros que me acompañaron durante la carrera y que hicieron que este logro fuera posible.*

*Iván Darío Bello Zapata*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis sinceros agradecimientos a la Universidad Industrial de Santander, en especial a la escuela de Ingeniería Química por la formación académica brindada.

A los Ingenieros Nelson Angulo, Oscar Ortiz, Hugo Villamizar, Alice, Jairo, Cesar Morales, Calos Mario, Ramón Leonel, Iván Carvajal, Don Héctor, Cristina, Rodrigo Carrillo, Martin Suescun, Sonia Giraldo, María Elena Calvachi, Oswaldo Muñoz, Patricia Serrano, Fidel, Wilson Vides, Obed Florez, Rodian Villa, Humberto Ballestas, Darwin Pacheco, entre otros funcionarios de Ecopetrol S.A. que me apoyaron y que hicieron posible la realización y culminación de este proyecto y que me hicieron sentir como en casa durante los seis meses de práctica.

Al doctor Mario Álvarez Cifuentes por su disponibilidad como director de este proyecto.

A la doctora Sonia Giraldo por su orientación para la correcta entrega de este libro.

A todos mis compañeros y amigos que de alguna u otra forma me brindaron su apoyo y su comprensión durante esta etapa importante de mi vida.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                | <b>Pág.</b> |
|----------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>                                         | <b>1</b>    |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b>                                        | <b>3</b>    |
| <b>2.1. Dispositivos de alivio de presión</b>                  | <b>3</b>    |
| <b>2.2. Válvula de alivio de presión</b>                       | <b>3</b>    |
| <i>2.2.1. Válvula de alivio.</i>                               | <i>3</i>    |
| <i>2.2.2. Válvula de seguridad.</i>                            | <i>3</i>    |
| <i>2.2.3. Válvula de seguridad-alivio.</i>                     | <i>3</i>    |
| <i>2.2.4. Válvula de alivio de presión convencional.</i>       | <i>4</i>    |
| <i>2.2.5. Válvula de alivio de presión balanceada.</i>         | <i>4</i>    |
| <i>2.2.6. Válvula de alivio de presión operada por piloto.</i> | <i>4</i>    |
| <b>2.3. Sobrepresión</b>                                       | <b>4</b>    |
| <b>2.4. Acumulación</b>                                        | <b>4</b>    |
| <b>2.5. Contrapresión</b>                                      | <b>5</b>    |
| <b>2.6. Presión de apertura o seteo</b>                        | <b>5</b>    |
| <b>2.7. Presión de relevo</b>                                  | <b>5</b>    |
| <b>2.8. Tea</b>                                                | <b>5</b>    |
| <b>2.9. Cabezal de la tea</b>                                  | <b>6</b>    |
| <b>2.10. Máxima presión de trabajo permisible</b>              | <b>6</b>    |
| <b>3. METODOLOGÍA APLICADA</b>                                 | <b>7</b>    |

|                                                                                                                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.1. Comprensión de los sistemas de relevo</b>                                                                                                                                            | <b>7</b>  |
| <i>3.1.1. Válvulas de relevo de presión.</i>                                                                                                                                                 | <i>7</i>  |
| <i>3.1.2. Principios de operación.</i>                                                                                                                                                       | <i>8</i>  |
| <b>3.2. Recopilación y organización de la información técnica de todos los equipos e instrumentos para cada unidad de la planta UOP II, para la elaboración de un memorando de seguridad</b> | <b>9</b>  |
| <b>3.3. Revisión en campo y actualización de los sistemas de relevo a la Tea No. 7</b>                                                                                                       | <b>9</b>  |
| <b>3.4. Balance de datos encontrados en las diferentes fuentes de información</b>                                                                                                            | <b>10</b> |
| <b>3.5. Elaboración de hojas de cálculo para la determinación de escenarios de relevo para 5 equipos (torres o tambores) de la UOP II</b>                                                    | <b>11</b> |
| <i>3.5.1. Simulación de la torre fraccionadora principal T-4201, para determinación de calor latente de vaporización, en el simulador PRO II.</i>                                            | <i>14</i> |
| <b>3.6. Elaboración de hoja de cálculo para la determinación de área de orificio para válvulas de seguridad</b>                                                                              | <b>15</b> |
| <b>4. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>                                                                                                                                                              | <b>17</b> |
| <b>4.1. Balance de datos de presión en las diferentes fuentes de información</b>                                                                                                             | <b>17</b> |
| <b>4.2. Determinación de escenarios de relevo para 5 equipos (torres o tambores) de la UOP II</b>                                                                                            | <b>18</b> |
| <b>4.3. Determinación de áreas de orificio para 5 válvulas de seguridad de la UOP II</b>                                                                                                     | <b>21</b> |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>5. CONCLUSIONES</b>    | <b>22</b> |
| <b>6. RECOMENDACIONES</b> | <b>23</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>       | <b>24</b> |
| <b>ANEXOS</b>             | <b>26</b> |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                          | <b>Pág.</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla N°1. Revisión de la presión de disparo para las diferentes válvulas de seguridad.                                                  | 17          |
| Tabla N°2. Presiones de disparo definidas para cada válvula.                                                                             | 18          |
| Tabla N°3. Contingencia gobernante y relevo para cada equipo.                                                                            | 18          |
| Tabla N°4. Balance de capacidad de relevo obtenidos y capacidades de relevo según hoja de diseño de la válvula para la falla gobernante. | 20          |
| Tabla N°5. Balance de área de orificio calculada y área de orificio calculada según la hoja de datos de la válvula.                      | 21          |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                     | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------|-------------|
| Gráfico N°1. Falla vs. Relevo para la torre T-4201. | 19          |
| Gráfico N°2. Falla vs. Relevo para la torre T-4255. | 19          |
| Gráfico N°3. Falla vs. Relevo para la torre T-4282. | 20          |

## RESUMEN

**TITULO:** REVISION HIDRAULICA Y ACTUALIZACION DE LOS SISTEMAS DE RELEVO DE LA TEA N°7, DE LA PLANTA DE CRACKING CATALITICO UOP II \*

**AUTOR:** IVÁN DARÍO BELLO ZAPATA \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Craqueo catalítico, Sistemas de relevo, Válvulas de Seguridad, UOP II, ECOPETROL.

### **DESCRIPCION:**

En ECOPETROL S.A. como parte de la coordinación de Integridad Técnica, se tiene como objetivo verificar el buen funcionamiento de los sistemas de seguridad del Complejo Barrancabermeja, específicamente para este proyecto, la planta de Cracking Catalítico UOP II.

Para lograr este objetivo se realiza, como primera instancia, una recopilación de la información del proceso y de los equipos e instrumentos existentes en la planta. Posteriormente se realiza una revisión visual en campo de los sistemas de alivio de presión (Válvulas de Seguridad) y se encontraron algunas no conformidades al comparar los datos encontrados en la revisión en campo con la información del fabricante. Con base a estas no conformidades se elabora un informe en el que se dan ciertas conclusiones y recomendaciones para tener en cuenta en inspecciones futuras.

Finalmente con base a las consideraciones dadas por las Normas API 520 y 521, se elabora una hoja de cálculo para determinar la capacidad de relevo de las válvulas de seguridad y una hoja de cálculo para el dimensionamiento de PSV's, para 5 equipos diferentes de la planta de Cracking UOP II, esto con el fin de asegurar que dichas válvulas se encuentran capacitadas para relevar la cantidad requerida de flujo durante la contingencia gobernante y afirmar que el área de orificio de las mismas fue correctamente establecida.

Al observar los resultados obtenidos con las hojas de cálculo y compararlos con los datos contenidos en los datasheets de las válvulas de los equipos estudiados, se puede confirmar la efectividad de estas hojas y su correcto funcionamiento para el dimensionamiento de PSV's.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.  
Dr. Mario Álvarez Cifuentes.

## ABSTRACT

**TITLE:** HYDRAULIC REVIEW AND UPDATE OF SYSTEMS RELEASE OF TEA No. 7 OF CATALYTIC CRACKING UOP II PLANT \*

**AUTHOR:** IVÁN DARÍO BELLO ZAPATA \*\*

**KEYWORDS:** Catalytic Cracking, Relief systems, Safety Valve, UOP II, ECOPETROL.

### **DESCRIPTION:**

In ECOPETROL SA as part of the coordination of technical integrity, is aimed to verify the proper functioning of security systems of the Barrancabermeja Complex, specifically for this work, the Catalytic Cracking UOP II Plant.

To achieve this goal is realized as the first instance, an information gathering process and the equipment and instruments in the plant. Later we made a visual check on field of pressure relief systems (safety valve) and non-conformities were found when comparing the data found in the review on the field with the manufacturer data. Based on these non-conformities a report shall be make with recommendations and comments for consideration in future inspections.

Finally, based on the considerations given by the API Standards 520 and 521, were produced a spreadsheet to determine the capacity of relief safety valve and a spreadsheet for sizing of PSV `s, for 5 different vessels of Cracking UOP II Plant, this to ensure that these valves are capable of releasing the required amount of flow during the contingency ruling and affirm that the effective orifice was properly established.

Looking at the results from the spreadsheet and compare them with data in the datasheets of the valves studied, we can confirm the effectiveness of these forms and their proper functioning for the sizing of PSV `s.

---

\* Graduate work.

\*\*Faculty of Physical and Chemical engineering. School of Chemical Engineering. Dr. Mario Álvarez Cifuentes.

## 1. INTRODUCCIÓN

*“Descubrimos fuentes de energía y las convertimos en valor para nuestros clientes y accionistas, asegurando el cuidado del medio ambiente, la seguridad de los procesos e integridad de las personas, contribuyendo al bienestar de las áreas donde operamos...”*

*Misión de ECOPETROL S.A*

En Ecopetrol S.A. y muchas otras empresas de refinación de petróleo, es de gran importancia la calidad de sus productos, teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente, la seguridad en los procesos de producción y la integridad de las personas comprometidas con la empresa.

En toda planta de procesos es muy común el uso de equipos con presiones de diseño y operación elevadas, debido a las altas temperaturas y condiciones necesarias para que el proceso se lleve a cabo con el desempeño requerido. Por esto es muy importante contar con herramientas que permitan controlar las condiciones de operación y responder ante una falla, ya sea interna o externa en el equipo, la cual no pueda sobrellevar el sistema de control. Para esta tarea se usa comúnmente en las industrias de refinación, los sistemas de relevo de presión, tales como las válvulas de seguridad, las cuales realizan la importante función de brindar lo que su nombre indica: seguridad, definida como el conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto eliminar o reducir el riesgo de que se produzcan los accidentes de trabajo.

Para algunas personas, las válvulas de relevo de presión son poco funcionales, inicialmente porque no le prestan la debida atención, pues al estar instaladas en la parte más alta de un sistema presurizado y sin hacer nada, aparentemente, se ha relegado su importancia. Lo que no toman en cuenta es que las válvulas de relevo de presión están ahí para actuar únicamente en el caso de que el sistema presurizado que se está protegiendo genere una sobrepresión indebida. Sólo entonces se espera que la válvula de relevo de

presión desaloje o releve el exceso de presión en el sistema, regresando las cosas a la normalidad.

Con el fin de lograr este ambiente de seguridad de procesos y dar claridad acerca del funcionamiento de los sistemas de alivio de presión, para tenerse en cuenta en la parada de planta programada para el año 2010, se realizó una revisión hidráulica de los sistemas de relevo a la Tea No. 7, cuya función es la quema de gases relevados por la planta de cracking catalítico UOP II y la planta de Alquilación. Este proyecto se enfocó en la planta UOP II debido a que esta es la encargada de convertir materiales de bajo valor en productos de alto valor como la gasolina o el GLP.

Con base en la revisión hidráulica desarrollada se logró verificar que los sistemas de alivio de presión situados actualmente en la UOP II, se encuentran instalados y dimensionados correctamente, debido a que los datos de caudal relevado y de área de orificio obtenidos por el estudio durante la falla gobernante, se encuentran muy próximos a los valores actualmente instalados en la planta. Estos resultados nos revelan la efectividad, el buen desarrollo y el buen funcionamiento de las hojas de cálculo elaboradas para este proyecto.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Dispositivos de alivio de presión

Los dispositivos de alivio de presión son elementos utilizados en cualquier recipiente que contenga gases o líquidos a presiones mayores a la atmosférica, que evitan que el tanque sufra roturas ante elevaciones excesivas de presión debido a problemas que puedan presentarse.

### 2.2. Válvula de alivio de presión

Es un dispositivo de alivio de presión diseñado para abrir a una presión igual o mayor a la presión de ajuste de la válvula durante una falla o contingencia que se presente en el equipo protegido.

#### 2.2.1. *Válvula de alivio.*

Es una válvula que abre normalmente en proporción al incremento de presión de operación por encima de la presión de apertura de la válvula. Es usada principalmente para fluidos incompresibles.

#### 2.2.2. *Válvula de seguridad.*

Se caracteriza por una rápida apertura al momento de presentarse un incremento de presión por encima de la presión de apertura de la válvula. Es usada principalmente para fluidos compresibles. (Ver figura en el Anexo E).

#### 2.2.3. *Válvula de seguridad-alivio.*

Válvula que puede ser usada como válvula de alivio o de seguridad dependiendo de su aplicación.

#### *2.2.4. Válvula de alivio de presión convencional.*

Válvula cuyas características están directamente afectadas por los cambios en la contrapresión.

#### *2.2.5. Válvula de alivio de presión balanceada.*

Válvula que incorpora un fuelle o de otros medios para reducir al mínimo el efecto de la contrapresión en las características operativas de la válvula.

#### *2.2.6. Válvula alivio de presión operada por piloto.*

Es una válvula de alivio de presión en la cual la válvula principal es combinada y controlada por una válvula de alivio de presión auxiliar automática llamada piloto.

### **2.3. Sobrepresión**

Los dispositivos para alivio de presión no llegan a su plena capacidad a la presión graduada para apertura. Por ejemplo, una válvula de desahogo en servicio con líquido no abre por completo hasta que la presión en la entrada es 25 % más alta que la presión graduada, este aumento se llama sobrepresión. La sobrepresión es llamada acumulación, cuando el mecanismo de alivio se ajusta a la máxima presión de trabajo permisible del equipo.

### **2.4. Acumulación**

Es el incremento de presión sobre la presión de diseño del equipo durante la descarga a través del sistema de alivio. El término se refiere al equipo a proteger y no al dispositivo de alivio de presión. La acumulación es el aumento permitido en una situación de emergencia y puede variar el 10% de la presión de diseño hasta el 21% para situaciones de incendio.

También se puede decir que la acumulación es el incremento de presión por encima de la máxima presión de trabajo permisible de un equipo durante la descarga a través de la válvula de alivio de presión. Se expresa como un porcentaje de la presión máxima permisible de trabajo.

## **2.5. Contrapresión**

Es la presión que existe a la salida de un dispositivo de alivio de presión como resultado de la presión en el sistema de descarga. La alta contrapresión aumenta la presión de apertura inicial y reduce la capacidad de la válvula, provocando en esta, movimientos rápidos anormales (oscilaciones) de sus partes móviles, durante los cuales el disco hace contacto con el asiento, causando daños a la válvula.

## **2.6. Presión de apertura o seteo**

Es la presión en la tubería de entrada a la cual el dispositivo de alivio de presión está ajustado para abrir bajo condiciones de servicio. En una válvula de seguridad o válvula de seguridad-alivio en servicio de gas, vapor o vapor de agua, la presión de apertura es la presión de entrada a la cual esta dispara bajo condiciones de servicio. En servicio de líquido la presión de apertura es la presión de entrada a la cual la válvula empieza a abrir bajo condiciones de servicio.

## **2.7. Presión de relevo**

La presión de relevo equivale a la suma de la presión de apertura o seteo y la sobrepresión.

## **2.8. Tea**

Una tea es un medio para eliminar de manera segura los gases relevados al cabezal de la tea por combustión.

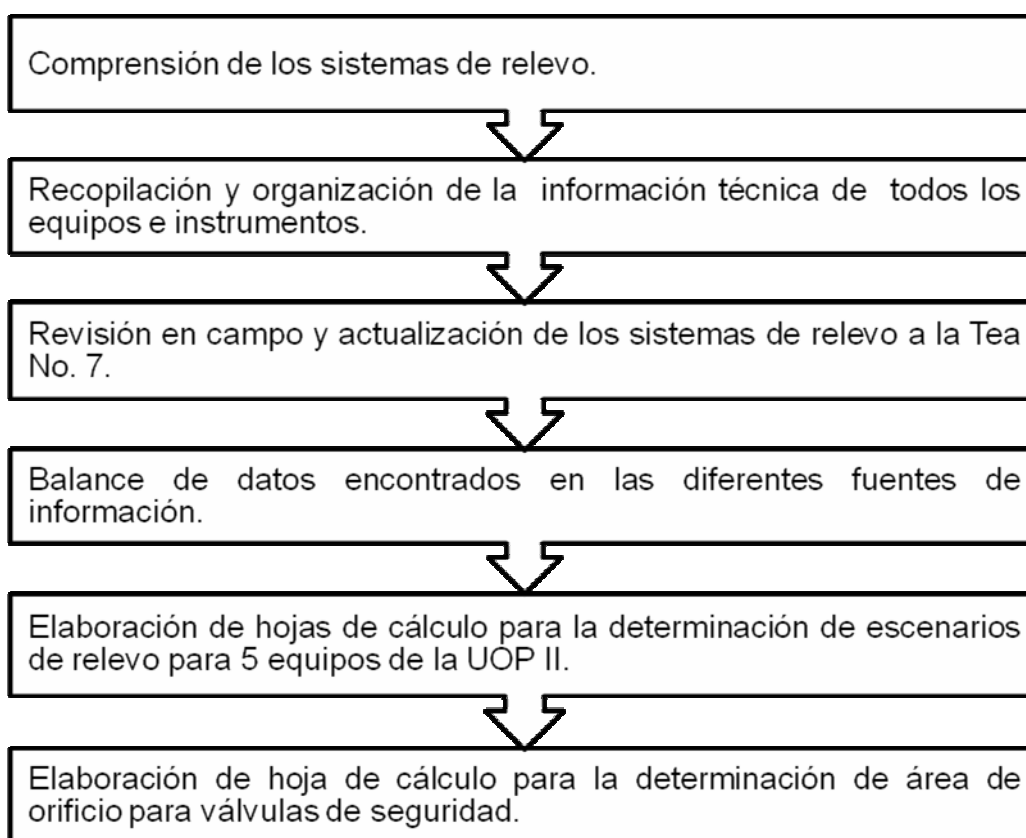
### **2.9. Cabezal de la tea**

Es la tubería principal a la que llegan todas las tuberías secundarias de gas relevado para su conducción hasta el quemador o tea.

### **2.10. Máxima presión de trabajo permisible**

Es la presión máxima permisible en un equipo cuando éste opera a una temperatura determinada. Esta presión está basada en cálculos para cada elemento de un equipo usando espesores, tolerancias por corrosión y espesores requeridos por cargas distintas a la presión. También se dice que es la base para la presión de ajuste de mecanismos de alivio que protegen un recipiente.

### 3. METODOLOGÍA APLICADA



#### 3.1. Comprensión de los sistemas de relevo

Con base en la bibliografía consultada, se obtuvo información acerca del funcionamiento de los sistemas de relevo a la tea (ej. Válvulas de Seguridad) y de las disposiciones que son de aplicación general y obligatoria en las industrias que cuenten con instalaciones diseñadas para operar a presiones de trabajo máximas permisibles mayores de 103.44 kPa (15 psia), así como también ciertos estándares a considerar para la correcta instalación, dimensionamiento y selección de los dispositivos de relevo, teniendo en cuenta las propiedades termodinámicas y tipo de fluido de trabajo del equipo a proteger.

##### 3.1.1. Válvulas de relevo de presión.

En términos generales las válvulas de relevo de presión son dispositivos que deben cumplir con un alto grado de requisitos de seguridad, lo cual implica que deban ser productos de alta confiabilidad y esto se obtiene cuando se cumple con los lineamientos técnicos que aplican en su selección, instalación, diseño, materiales, fabricación, uso y mantenimiento. Así la normativa que regula los productos es imprescindible, debido a que es el filtro para proporcionar seguridad a los consumidores del país.

La importancia de la seguridad en este producto redundando en una operación confiable del sistema que protege, dando por resultado, la continuidad de la productividad, la protección de las instalaciones, la seguridad de vidas humanas y la conservación del medio ambiente.

Estos equipos constituyen el último dispositivo de seguridad y actúan en una situación de emergencia para evitar que una sobrepresión origine una catástrofe.

Debido a lo anterior, las válvulas de relevo de presión son frecuentemente señaladas como los silenciosos centinelas de la industria. El término válvula de relevo de presión es preciso y se utiliza para denominar indistintamente a las válvulas de seguridad, válvulas de alivio, válvulas de seguridad-alivio y válvulas operadas por piloto.

### *3.1.2. Principios de operación.*

La válvula de seguridad opera de la siguiente manera: la presión de vapor entra en la válvula y actúa sobre la sección del disco y la tobera generando una fuerza que se opone a la fuerza del muelle o resorte. Cuando esta fuerza es mayor que la fuerza del resorte la válvula abre. El volumen de vapor generado por una apertura mínima del disco, al expandirse, actúa sobre el anillo inferior, causando una fuerza adicional que actúa sobre el área del sostenedor del disco, que ayuda a la válvula a hacer su apertura total. El ajuste necesario del anillo superior permite al disco de la válvula alcanzar su carrera a la sobrepresión de diseño, normalmente el 3% de sobrepresión. Cuando la

presión de entrada disminuye hasta alcanzar la presión de cierre, el disco se mueve hacia abajo, provocando el cierre de la válvula. La disposición del disco y sus partes complementarias, sostenedor del disco, vástago, collar del disco y tuerca de límite de carrera, permiten al disco alcanzar su posición de cierre con fuerza suficiente para impedir fugas.

### **3.2. Recopilación y organización de la información técnica de todos los equipos e instrumentos para cada unidad de la planta UOP II, para la elaboración de un memorando de seguridad**

Se realizó una recopilación de la información, contenida en el datasheet de cada equipo (Ver formato de datasheet en el Anexo A). Para este trabajo se contaba con una base de datos disponible en el Centro de Investigación Técnica (CIT), el Archivo Técnico y los manuales de operación por unidad de la planta proporcionados por los ingenieros de proceso.

La información recopilada fue archivada y entregada a la firma encargada de la elaboración del Memorando de Seguridad de la planta.

### **3.3. Revisión en campo y actualización de los sistemas de relevo a la Tea No. 7**

Este paso consistió en una revisión visual de las PSV's (siglas en inglés: Pressure Safety Valve) presentes en la planta, enfocándose en la información contenida en las placas anexadas a cada una de éstas.

Cada válvula lleva incorporada de forma permanente la siguiente información:

- Placa de identificación del fabricante.
- Placa anexa de identificación de Ecopetrol.

Las cuales contienen:

- Tamaños nominales de entrada y salida y dirección (sentido) del flujo.
- Coeficientes de descarga y sección neta correspondiente de flujo.

- Presión de disparo.
- Flujo de trabajo del equipo.

En el caso de cambio de las especificaciones de la válvula se deberá cambiar el resorte, efectuando un nuevo reajuste de la presión de disparo y un nuevo registro en la placa de Ecopetrol anexada.

Y por último se verificó la existencia de válvulas de bloqueo, a la entrada y salida de la válvula y la existencia de bypass en la tubería de entrada a la válvula.

Con base en esta información se elaboró un listado de Válvulas de Seguridad en el que se encuentra contenida toda la información recopilada durante la revisión visual. Este archivo será de mucha utilidad para el mantenimiento de las válvulas de seguridad programada para la parada de la planta UOP II en el año 2010.

#### **3.4. Balance de datos encontrados en las diferentes fuentes de información**

Con base en las diferentes fuentes de información y la revisión en planta, se compararon los diferentes datos y se obtuvieron algunas inconformidades, las cuales dificultaban la continuación del proyecto.

Algunas de éstas fueron: diferencias entre la presión contenida en la placa de Ecopetrol y la placa del fabricante, diferencias entre la presión contenida en la placa de Ecopetrol y la presión contenida en el datasheet de la válvula en revisión, diferencias en el registro de fluido de trabajo, válvulas con ausencia de placa de fabricante o de Ecopetrol o ambas y válvulas con difícil acceso para revisión.

Esta información recopilada fue revisada, comparada y actualizada con los datos que se obtuvieron en el trabajo de campo y con base a esto se realizó un informe con la ayuda de cuadros comparativos, los cuales nos permitieron un

fácil análisis de los datos y dar algunas recomendaciones para el buen funcionamiento de los sistemas de seguridad de la planta UOP II.

En la Tabla N°2 de la sección de resultados y análisis, se muestra el cuadro comparativo contenido en el informe, el cual se elabora con el fin de establecer un valor fijo de presión de disparo, ya que este es indispensable para llevar a cabo el estudio durante este proyecto y para dar claridad a los encargados del mantenimiento de las válvulas de seguridad en el momento de su inspección.

Este procedimiento consistió en comparar, con base en los valores de presión de diseño del equipo, los diferentes registros de presión de disparo para una misma válvula y definir el valor lógico. Este valor lógico se obtiene teniendo en cuenta que una válvula de seguridad no puede tener una presión de disparo permisible mayor que la presión de diseño del equipo, ya que estaría permitiendo que la presión interna del equipo alcanzara valores de presión a los cuales se podría presentar sobrepresión o roturas en la estructura afectando de manera poco positiva en el proceso y en la seguridad de la planta.

### **3.5. Elaboración de hojas de cálculo para la determinación de escenarios de relevo para 5 equipos (torres o tambores) de la UOP II**

Los factores que intervienen en el funcionamiento de los equipos a proteger son: la contingencia dominante, el tipo de fluido de trabajo en dicho equipo, presión y temperatura de diseño, entre otras.

Como primera instancia se debe tener claridad en las diferentes corrientes del equipo, tanto de entrada como de salida, ya que éstas se requieren para evaluar la cantidad de flujo a relevar durante cualquier contingencia, las cuales son las principales causas de sobrepresión en el equipo. Para esta evaluación se tomaron los datos de flujo de entrada y salida expresados en la hoja de datos de diseño del equipo, ya que estos equivalen al valor máximo que podría alcanzar el flujo a través de las tuberías.

Teniendo en cuenta estos datos se procede a evaluar las posibles contingencias que podrían presentarse en la industria petrolera basándose en la Norma API 521, la cual nos muestra, de manera muy general, las diferentes causas de sobrepresión y algunas consideraciones que se deben asumir para el estudio de las mismas.

Como una breve descripción se puede expresar que la sobrepresión es el resultado de un desbalance o interrupción del flujo normal de materia y energía, lo cual causa que una de éstas ó ambas, se acumulen en alguna parte del sistema. El análisis de las causas y la magnitud de la sobrepresión es un estudio especial y complejo de balances de materia y energía en un sistema de proceso.

Algunas de estas causas que podrían presentarse en la industria del petróleo según Normas API son:

Falla en el sistema de energía eléctrica (F E E).

Falla en el sistema de agua de enfriamiento (F A E).

Falla en el sistema de aire de instrumentos (F A I).

Fallas operacionales.

- Operación inadvertida de válvula (O I V).
- Falla en bomba de fondos (F B F).
- Falla de enfriador con aire (F E A).
- Falla en sistema de distribución de vapor.

Falla por fuego externo (F F).

El procedimiento para los cálculos de relevo se elaboró para 5 equipos diferentes de la planta UOP II, estos equipos son:

- Torre Fraccionadora Principal T-4201.

La Torre Fraccionadora T-4201 es el equipo primario de la Sección Fraccionadora. El propósito de esta sección es separar el efluente del reactor en corrientes de slurry, aceite pesado de ciclo, aceite liviano de ciclo, nafta pesada, gasolina y gas combustible.

Para esta torre se elaboró una simulación en PRO II con el fin de obtener el valor del calor latente de vaporización, ya que es indispensable para el desarrollo de la hoja de cálculo para este equipo.

- Torre Separadora de Propano/Butano T-4255.

El GLP proveniente de tratamiento con amina T-4281 y de la torre deetanizadora T-4303 se carga en la torre depropanizadora T-4255 donde el butano-butileno es separado del propano-propileno, esto con el fin de obtener el flujo de diolefinas que se requieren para cargar a la unidad de Alquilación.

- Tambor de Cima de la Separadora D-4256.

Los gases de cima (propano-propileno) de la torre T-4255 son condensados con aire y colectados en el tambor D-4256, en donde se transfiere una parte del producto como reflujo a la torre reguladora y la otra parte hacia almacenamiento en la estación Galán del Oleoducto.

- Tambor de Cima de la Fraccionadora Principal D-4206.

Este tambor D-4206, separa los vapores de cima de la T-4201 en tres fases. El agua agria se recolecta en la bota del tambor, la gasolina flota sobre el agua agria y el gas no-condensado se mantiene arriba.

- Torre Regeneradora T-4282.

Esta torre recibe DEA rica con el fin de despojarla del H<sub>2</sub>S, mediante un vapor ascendente generado en el rehervidor. Los vapores de cima de esta torre consisten de agua, dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno los cuales se condensan y se envían al acumulador de la regeneradora de amina D-4281. La

amina pobre del fondo de la torre pasa a través del intercambiador donde precalienta la amina rica que entra a la torre.

Para cada uno de estos equipos se requirió de la información técnica contenida en su datasheet, el valor del calor latente de vaporización para el estudio de falla por fuego específicamente, el diagrama de flujo del proceso contenido en los P&ID's de la planta y la descripción del proceso contenido en los manuales de operación de cada unidad.

El procedimiento consistió en el cálculo y verificación, para diferentes fallas, de las capacidades de relevo de las 5 válvulas de seguridad de los equipos anteriormente descritos que presentan la facilidad de relevar a la Tea No.7 en el caso de que se presente alguna contingencia. Este cálculo se desarrolló con la elaboración de diferentes hojas de cálculo en el programa Excel 2007. Los procedimientos y las consideraciones que se tomaron para el análisis de fallas se hicieron teniendo en cuenta las normas API 520 y API 521, libros de Ingeniería Básica de Diseño para modernización de la planta Orthoflow en el año de 1996, manuales para el diseño del sistema de la Tea y libros de diseño de la UOP. (Los cálculos desarrollados para la obtención de estas capacidades de relevo se muestran en el Anexo B).

Los resultados obtenidos durante el proyecto muestran la capacidad de relevo en Lb/h para cada falla estudiada y con base a estos valores presenta una grafica de Falla vs. Relevo que define la falla gobernante del sistema, la cual equivale al mayor relevo obtenido para cada equipo.

Estas hojas de cálculo servirán de referencia para futuros cálculos de capacidades de relevo en diferentes equipos de la misma planta y para otras plantas del complejo Barrancabermeja.

### *3.5.1. Simulación de la torre fraccionadora principal T-4201, para determinación de calor latente de vaporización, en el simulador PRO II.*

Para esta simulación se tuvieron en cuenta los flujos de entrada y salida actuales de la torre fraccionadora principal así como sus propiedades

termodinámicas, pump-arounds, reciclos y demás equipos asociados a este sistema. Esta simulación se realizó con el fin de obtener el valor del calor latente de vaporización del líquido contenido en el fondo de la torre, ya que este dato no se encontraba disponible en la información registrada por el laboratorio de muestras de la Refinería Barrancabermeja para este equipo y es indispensable para el cálculo de la capacidad de relevo para el caso en que la contingencia estudiada sea falla por fuego externo. (Ver esquema de la simulación en el Anexo F).

Para los otros 4 equipos estudiados no se vio la necesidad de realizar ningún tipo de simulación debido a que este valor se encontraba registrado en la base de datos.

### **3.6. Elaboración de hoja de cálculo para la determinación de área de orificio para válvulas de seguridad**

Para llevar a cabo el dimensionamiento de una válvula de seguridad, se requiere ante todo del conocimiento de la masa a relevar, sus propiedades y las características del sistema de relevo, para lo cual se debe elaborar un análisis cuidadoso del servicio y del entorno en el que la válvula va a operar. Algunas de las características y propiedades a tener en cuenta son:

- Tipo de válvula.
  - Convencional.
  - Balanceada.
  - Piloto.
  
- Contrapresión:
  - Válvulas convencionales (descarga a la atmosfera): Una contrapresión de un 10% de la presión de relevo.

- Válvulas balanceadas y operadas por piloto (descarga que se integra a un cabezal): Una contrapresión de entre 40 ó 50% de la presión de relevo.
- Presión de apertura.
- Presión y Temperatura de relevo.
- Sobrepresión:

Los valores de sobrepresión comúnmente utilizados son:

- Para protección contra fuego: 20%
  - Para expansión térmica: 25%
  - Equipos con válvula individual: 10%
  - Equipos con válvula múltiple: 16%
- 
- Tipo de fluido de la válvula.

Al considerar las variables mostradas anteriormente y teniendo en cuenta el valor de relevo obtenido con el procedimiento descrito en el numeral 2.5, se procede a calcular las áreas de orificio de las diferentes válvulas en estudio. Para esto se elaboró una hoja de cálculo en el cual se ingresan los diferentes datos solicitados teniendo en cuenta el tipo de fluido de trabajo de la válvula y en algunos casos el tipo de válvula, presentando como resultado el área de orificio y la letra designada que equivale al área efectiva mayor mas próxima, ya que estas válvulas tienen para cada letra un valor fijo de área efectiva de orificio en pulgadas cuadradas (Ver tabla de área efectiva de orificio y letra designada en el Anexo D).

Para la determinación del área efectiva se emplean diferentes ecuaciones, en función de las características del fluido que maneja el equipo, tubería o sistema, teniendo en cuenta los parámetros dados en la Norma API 520. (Ver Anexo C).

Los resultados obtenidos en la hoja de cálculo presentan el área de orificio calculada, el área efectiva de orificio y la letra designada para dicha área.

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

##### 4.1. Balance de datos de presión en las diferentes fuentes de información

Con base en los datos de presión contenidos en los datasheets de las válvulas de seguridad, los P&ID's de la planta, la placa adjunta de Ecopetrol y la placa de fabricante, se elaboró una tabla comparativa en la que se encuentra contenido los diferentes valores de presión de disparo leídos. Esta tabla se realizó con el fin de esclarecer las diferencias en los valores de presión de una misma válvula y definir una única presión de disparo.

**Tabla N°1.** Revisión de la presión de disparo para las diferentes válvulas de seguridad.

| UNIDAD | NOMENCLATURA<br>(ECP, FABRICANTE) | PRESIÓN (psi) |               |         |      | PRESIÓN DE DISEÑO<br>DEL EQUIPO (psi) |                   |
|--------|-----------------------------------|---------------|---------------|---------|------|---------------------------------------|-------------------|
|        |                                   | PLACA<br>ECP  | PLACA<br>FAB. | DATASH. | P&ID | SHELL SIDE                            | TUBE SIDE         |
| U-4250 | VE-4275 A, V1E4275 A              | 150           | 150           | 110     | 110  | 250                                   | 150               |
| U-4250 | VE-4275 B, V1E4275 B              | 150           | 150           | 110     | 110  | 250                                   | 150               |
| U-4250 | VE-4274 A, V1E4274 A              | 187           | 178           | 178     | 110  | F.V./15#                              | 110               |
| U-4250 | VE-4254, V1E4254                  | 110           | 158           | 158     | 158  | 236                                   | 158               |
| U-4200 | VE-4205 E, V2E4205 B              | 515           | 515           | 500     | 515  | 500                                   | 140               |
| U-4200 | VE-4214 B, V1E4214 B              | 150           | 150           | 110     | 110  | 250                                   | 150               |
| U-4200 | VE-4214 A, V1E4214 A              | 150           | 150           | 110     | 110  | 250                                   | 150               |
| U-4300 | VE-4316, V1E4316                  | 200           | 200           | 220     | 220  | 330                                   | 220               |
| U-4300 | VE-4311 A, V1E4311 A              | 150           | 150           | 110     | 110  | 450<br>(O.P.=355)                     | 150<br>(O.P.=110) |
| U-4300 | VE-4311 B, V1E4311 B              | 150           | 150           | 110     | 110  | 450<br>(O.P.=355)                     | 150<br>(O.P.=110) |
| U-4300 | VE-4312 B, V1E4312 B              | 150           | 150           | 110     | 110  | 550<br>(O.P.=425)                     | 150<br>(O.P.=110) |
| U-4300 | VE-4312 A, V1E4312 A              | 150           | 150           | 110     | 110  | 550<br>(O.P.=425)                     | 150<br>(O.P.=110) |
| U-4300 | VD-4322, V1D4322                  | 95            | 100           | 100     | 100  | 100 (O.P.=75)                         |                   |
| U-4280 | VE-4285, V1E4285                  | 66            | 253           | 253     | 253  | 380                                   | 253               |
| U-4280 | VE-4286, V1E4286                  | 110           | 146           | 110     | 110  | 140                                   | 110 (A)           |

Como resultado se obtiene que las presiones de disparo definidas para las válvulas de la Tabla N°1 son:

**Tabla N°2.** Presiones de disparo definidas para cada válvula.

| VÁLVULA   | PRESIÓN DE DISPARO (psi) | VÁLVULA   | PRESIÓN DE DISPARO (psi) |
|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|
| VE-4275 A | 150                      | VE-4316   | 220                      |
| VE-4275 B | 150                      | VE-4311 A | 150                      |
| VE-4274 A | 110                      | VE-4311 B | 150                      |
| VE-4254   | 158                      | VE-4312 B | 150                      |
| VE-4205 E | 500                      | VE-4312 A | 150                      |
| VE-4214 B | 150                      | VD-4322   | 100                      |
| VE-4214 A | 150                      | VE-4285   | 253                      |

Estos valores se definen teniendo en cuenta tanto los datos de presión de diseño del equipo, como la presión de operación (O.P) del mismo.

#### 4.2. Determinación de escenarios de relevo para 5 equipos (torres o tambores) de la UOP II

Este cálculo se realizó con el fin de obtener la capacidad de relevo generada por la contingencia gobernante en el sistema. Los resultados obtenidos se compilan en la Tabla N°3.

**Tabla N°3.** Contingencia gobernante y relevo para cada equipo.

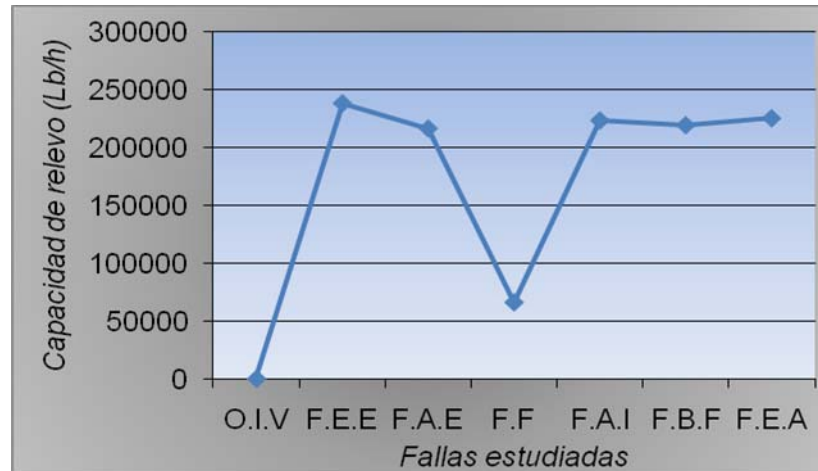
| EQUIPO | CONTINGENCIA GOBERNANTE                    | RELEVO (Lb/h) |
|--------|--------------------------------------------|---------------|
| T-4201 | Falla de energía eléctrica.                | 238117        |
| T-4255 | Operación inadvertida de válvula.          | 162375        |
| D-4256 | Falla por fuego externo.                   | 23171,65      |
| D-4206 | Falla en sistema de distribución de vapor. | 186840        |
| T-4282 | Falla en agua de enfriamiento.             | 5639          |

De manera grafica para cada equipo se observa:

T-4201.

Según el Grafico N°1 para este equipo se obtuvo la falla de Energía Eléctrica como la falla gobernante del sistema.

**Gráfico N°1.** *Falla vs. Relevo para la torre T-4201.*

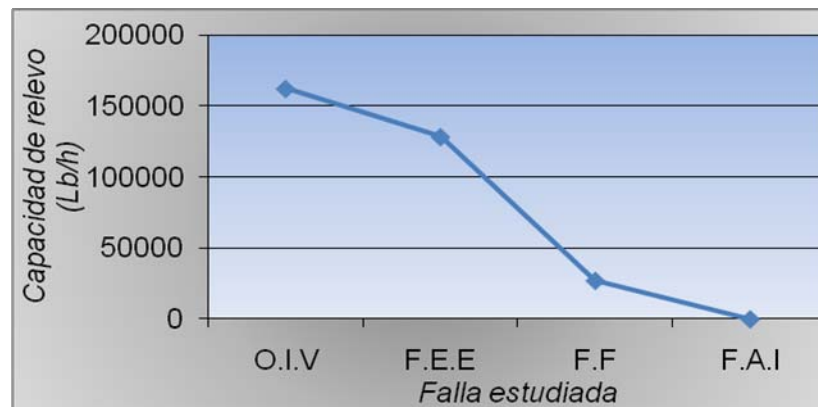


Con este resultado se deduce que la válvula de seguridad debe dimensionarse con el relevo generado por esta contingencia.

T-4255.

Según el Grafico N°2 para este equipo se obtuvo la operación inadvertida de válvula como la falla gobernante del sistema.

**Gráfico N°2.** *Falla vs. Relevo para la torre T-4255.*

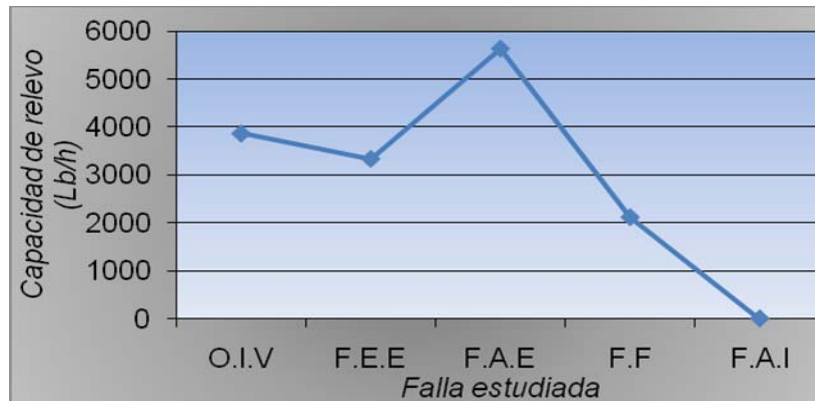


Con este resultado se deduce que la válvula de seguridad debe dimensionarse con el relevo generado por esta contingencia.

T-4282.

Según el Grafico N°3 para este equipo se obtuvo la falla en agua de enfriamiento como la falla gobernante del sistema.

**Grafico N°3.** Falla vs. Relevo para la torre T-4282.



Con este resultado se deduce que la válvula de seguridad debe dimensionarse con el relevo generado por esta contingencia.

Para los tambores D-4256 y D-4206 no se tienen resultados gráficos debido a que ya se tenía conocimiento de la contingencia gobernante para estos 2 equipos.

En la Tabla N°4 se muestra la aproximación en los datos de capacidad de relevo calculada y capacidad de relevo registrada en el datasheet de cada válvula de seguridad y se observa, que los datos obtenidos en las hojas de cálculo son valores muy cercanos a los valores de diseño, por lo tanto esto nos confirma que las válvulas fueron correctamente dimensionadas para estos 5 equipos.

**Tabla N°4.** Balance de capacidades de relevo obtenidos y capacidades de relevo según hoja de diseño de la válvula para la falla gobernante.

| Válvula     | Capacidad de Relevo Calculada (Lb/h) | Capacidad de Relevo según Datasheet (Lb/h) | % Error |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|---------|
| VD-4206 A/B | 186840                               | 186900                                     | 0,03    |
| VT-4255     | 162375                               | 162375                                     | 0       |
| VD-4256     | 23171,65                             | 23385                                      | 0,9     |
| VT-4282     | 5639                                 | 5639                                       | 0       |
| VT-4201     | 238117                               | 237500                                     | -13     |

### 4.3. Determinación de áreas de orificio para 5 válvulas de seguridad de la UOP II.

Este cálculo se hizo con el fin de obtener el área de orificio requerida para descargar la cantidad de relevo, generada por la contingencia gobernante en el sistema. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N°5.

**Tabla N°5.** Balance de área de orificio calculada y área de orificio calculada según la hoja de datos de la válvula.

| Válvula | Área de orificio calculada (pulg <sup>2</sup> ) | Área de orificio calculada según Datasheet (pulg <sup>2</sup> ) | Letra designada |           |
|---------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|
|         |                                                 |                                                                 | Calculada       | Datasheet |
| VT-4255 | 5,61                                            | 5,63                                                            | P               | P         |
| VD-4256 | 0,73                                            | 0,743                                                           | H               | H         |
| VT-4282 | 1,81                                            | 1,72                                                            | K               | K         |
| VD-4206 | 27,74                                           | 27,82                                                           | FULL BORE       | FULL BORE |
| VT-4201 | 41,57                                           | 39,83                                                           | FULL BORE       | FULL BORE |

Con base en estos resultados se puede asegurar, como primera instancia, el correcto dimensionamiento de las válvulas instaladas en la planta UOP II para los 5 equipos anteriormente descritos y como segunda instancia el buen funcionamiento de la hoja de cálculo elaborada durante este proyecto.

## **5. CONCLUSIONES**

Con la realización de este trabajo se pudo asegurar el correcto dimensionamiento de las válvulas presentes en los 5 equipos estudiados y que dichas válvulas cumplen con las especificaciones dadas por las Normas API 520 y 521.

Con base en los resultados obtenidos por la hoja de cálculo diseñada durante este trabajo, podemos asegurar su buen funcionamiento y su alta confiabilidad como herramienta en el cálculo de área de orificio para PSV's en el complejo de Barrancabermeja.

## 6. RECOMENDACIONES

El Complejo Industrial de Barrancabermeja cuenta con un programa de mantenimiento preventivo de válvulas de seguridad, el cual consiste en lavar, calibrar el resorte, revisar asiento y boquilla. La frecuencia de este mantenimiento se estableció de acuerdo con el servicio que presta cada válvula. La mayoría del mantenimiento es del tipo correctivo. Se recomienda continuar con la implementación del programa de mantenimiento preventivo y realizar la calibración del resorte teniendo en cuenta las condiciones de presión y temperatura a la cual trabajan en el proceso (en la actualidad se calibran con aire a temperatura ambiente).

Se recomienda la aplicación de esta herramienta como elemento de trabajo para el dimensionamiento de válvulas de seguridad, específicamente para cálculos de área de orificio de PSV's.

Cuando se presente un aumento en la carga a la planta se recomienda utilizar la metodología planteada en este trabajo para el cálculo de escenarios de relevo. Adicionalmente una simulación en INPLANT del sistema de la tea para asegurar el buen funcionamiento de la misma.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- API RECOMENDED PRACTICE 521. Guide for Pressure-relieving and Depressuring Systems. Fifth edition. January 2007.
- API RECOMENDED PRACTICE 520. Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving devices in Refineries. Part I - Sizing and selection. Part II – Installation. Seventh edition. January 2000.
- BANERJEE K. y CHEREMISINOFF, Nicholas P. Flare Gas Systems pocket handbook. Methods, formulas and guidelines for flare system design. United States: Gulf Publishing Co, 1985. 112p.
- BRZUSTOWSKI, T.A. Flaring in the energy Industry Volume 2, Waterloo, Ontario, Canada, 1996.pp.129-141.
- DABUR RIVERA, Francisco. Válvulas de alivio de presión y vacío para tanques de almacenamiento. Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. Septiembre, 2007.
- URL  
disponible en: <http://www.pemex.com/files/content/NRF-172-PEMEX-2007-F.pdf>
- EPA, No. 600/s2-83-052. Flare efficiency study. John Zink Corporation. Development and demonstration of high capacity single point flares corporation.
- EPA, TR-81-0121 Development of low pollutant flares.

- EPA, 68-02-298 Flare combustion, Waste gas hydrocarbon combustion in a flare. Union Carbide Corporation.
  
- GREENE, Richard W. Válvulas, selección, uso y mantenimiento. Madrid: Editorial Mc Graw Hill, 1999. 278p.
  
- MENA GALVIS, Camilo A. Revisión hidráulica y actualización de los sistemas de relevo de la Tea N°6, Unidad de balance, Gerencia de Refinación Barrancabermeja. Bucaramanga, 2008. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas.
  
- PACHECO PACHECO, Manuel. Sistemas de desfuegos y quemadores en instalaciones de PEMEX, Exploración y producción. Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. Febrero, 2003.
- URL disponible en: <http://www.pemex.com/files/standards/definitivas/nrf-031-pemex-2003.pdf>
  
- PARRY, Cyril F. Relief systems handbook. Institution of Chemical Engineers, Rugby, U.K. Reprinted 1994.
  
- UOP, Manual de descripción del proceso de la unidad GCB. Unidad de Cracking UOP 2.

## ANEXOS

### Anexo A. Modelo de datasheet para válvulas de seguridad.

| <b>SPRING-LOADED<br/>PRESSURE RELIEF VALVE<br/>SPECIFICATION SHEET</b>                                                     |  | Sheet No. _____ Page _____ of _____                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                            |  | Requisition No. _____                                                                                                                      |
|                                                                                                                            |  | Job No. _____                                                                                                                              |
|                                                                                                                            |  | Date _____                                                                                                                                 |
|                                                                                                                            |  | Revised _____                                                                                                                              |
|                                                                                                                            |  | By _____                                                                                                                                   |
| <b>GENERAL</b>                                                                                                             |  | <b>BASIS OF SELECTION</b>                                                                                                                  |
| 1. Item Number: <i>Example 1</i>                                                                                           |  | 5. Code: ASME VIII <input checked="" type="checkbox"/> Stamp Required: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> |
| 2. Tag Number:                                                                                                             |  | Other <input type="checkbox"/> Specify: _____                                                                                              |
| 3. Service, Line, or Equipment Number:                                                                                     |  | 6. Comply with API 526: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>                                                |
| 4. Number Required:                                                                                                        |  | 7. Fire <input type="checkbox"/> Other <input checked="" type="checkbox"/> Specify: <i>Control Valve Failure</i>                           |
|                                                                                                                            |  | 8. Rupture Disk: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>                                                       |
| <b>VALVE DESIGN</b>                                                                                                        |  | <b>MATERIALS</b>                                                                                                                           |
| 9. Design Type: <i>Safety Relief Valve</i>                                                                                 |  | 17. Body: _____                                                                                                                            |
| Conventional <input checked="" type="checkbox"/> Bellows <input type="checkbox"/> Balanced Piston <input type="checkbox"/> |  | 18. Bonnet: _____                                                                                                                          |
| 10. Nozzle Type: Full <input checked="" type="checkbox"/> Semi <input type="checkbox"/>                                    |  | 19. Seat (Nozzle): _____ Disk: _____                                                                                                       |
| Other <input type="checkbox"/> Specify: _____                                                                              |  | 20. Resilient Seat: _____                                                                                                                  |
| 11. Bonnet Type: Open <input type="checkbox"/> Closed <input checked="" type="checkbox"/>                                  |  | 21. Guide: _____                                                                                                                           |
| 12. Seat Type: Metal-to-Metal <input checked="" type="checkbox"/> Resilient <input type="checkbox"/>                       |  | 22. Adjusting Ring(s): _____                                                                                                               |
| 13. Seat Tightness: API 527 <input checked="" type="checkbox"/>                                                            |  | 23. Spring: _____ Washer _____                                                                                                             |
| Other <input type="checkbox"/> Specify: _____                                                                              |  | 24. Bellows: <i>N/A</i>                                                                                                                    |
|                                                                                                                            |  | 25. Balanced Piston: <i>N/A</i>                                                                                                            |
| <b>CONNECTIONS</b>                                                                                                         |  | 26. Comply with NACE MR0175: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>                                           |
| 14. Inlet Size: <i>4</i> Rating: <i>150</i> Facing: <i>RF</i>                                                              |  | 27. Other <input type="checkbox"/> Specify: _____                                                                                          |
| 15. Outlet Size: <i>6</i> Rating: <i>150</i> Facing: <i>RF</i>                                                             |  |                                                                                                                                            |
| 16. Other <input type="checkbox"/> Specify: _____                                                                          |  |                                                                                                                                            |
| <b>SERVICE CONDITIONS</b>                                                                                                  |  | <b>ACCESSORIES</b>                                                                                                                         |
| 33. Fluid and State: <i>Hydrocarbon Vapor</i>                                                                              |  | 28. Cap: Screwed <input type="checkbox"/> Bolted <input checked="" type="checkbox"/>                                                       |
| 34. Required Capacity per Valve and Units: <i>53500 lb/hr</i>                                                              |  | 29. Lifting Lever: Plain <input type="checkbox"/> Packed <input type="checkbox"/> None <input checked="" type="checkbox"/>                 |
| 35. Molecular Weight or Specific Gravity: <i>65</i>                                                                        |  | 30. Test Gag: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>                                                          |
| 36. Viscosity at Flowing Temperature and Units: —                                                                          |  | 31. Bug Screen: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>                                                        |
| 37. Operating Pressure and Units: <i>50 psig</i>                                                                           |  | 32. Other <input type="checkbox"/> Specify: _____                                                                                          |
| 38. Set Pressure and Units: <i>75 psig</i>                                                                                 |  |                                                                                                                                            |
| 39. Blowdown: Standard <input checked="" type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/>                                  |  |                                                                                                                                            |
| 40. Latent Heat of Vaporization and Units: _____                                                                           |  |                                                                                                                                            |
| 41. Operating Temperature and Units: <i>100°F</i>                                                                          |  | <b>SIZING AND SELECTION</b>                                                                                                                |
| 42. Relieving Temperature and Units: <i>167°F</i>                                                                          |  | 49. Calculated Orifice Area (in square inches): <i>4.93</i>                                                                                |
| 43. Built-up Back Pressure and Units: _____                                                                                |  | 50. Selected Effective Orifice Area (in square inches): <i>6.38</i>                                                                        |
| 44. Superimposed Back Pressure and Units: <i>0</i>                                                                         |  | 51. Orifice Designation (letter): <i>P</i>                                                                                                 |
| 45. Cold Differential Test Pressure and Units: _____                                                                       |  | 52. Manufacturer: <i>*</i>                                                                                                                 |
| 46. Allowable Overpressure in Percent or Units: <i>10</i>                                                                  |  | 53. Model Number: <i>*</i>                                                                                                                 |
| 47. Compressibility Factor, <i>Z</i> : <i>0.84</i>                                                                         |  | 54. Vendor Calculations Required: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>                                      |
| 48. Ratio of Specific Heats: <i>1.09</i>                                                                                   |  |                                                                                                                                            |

## **Anexo B. Procedimiento para el cálculo de capacidades de relevo para las diferentes contingencias.**

Este procedimiento se elabora con base a la Norma API 521, en la cual se especifican las ecuaciones a utilizar para el cálculo de capacidad de relevo y las diferentes consideraciones a tener en cuenta para las diferentes contingencias posibles (Falla por fuego, falla de energía eléctrica, operación inadvertida de válvula, falla en agua de enfriamiento, falla en aire de instrumentos) en los diferentes equipos.

### **A. Falla por fuego.**

El siguiente método puede ser usado para calcular el área de orificio requerida para válvulas de alivio de presión en equipos que contienen líquidos que están expuestos a fuego.

Consideraciones:

Según Norma API 521, todo equipo que se encuentre a una elevación menor a 25 ft, con respecto al suelo o superficie donde se puede generar incendio, se debe tener en cuenta para esta contingencia.

Se debe revisar y verificar que la distancia suelo-equipo sea mayor a 25 ft.

Se calcula el Área Húmeda. Según Norma API 521 con la formula:

$$Aw = 1.089 (D^2) + \pi DH$$

Donde,

$$H = \text{Nivel normal de líquido} + \frac{2}{12} (\# \text{Platos})$$

D = Diámetro de la torre, ft.

Para el caso de tambores se debe asumir que el nivel normal de liquido esta por la mitad de su capacidad.

Determinación del calor total de absorción.

Cuando existe equipo de contraincendios y drenajes adecuados en la planta se calcula por la ecuación:

$$Q = 21000 F(A_{wet})^{0.82}$$

Cuando no existe equipo de contraincendios, ni drenajes adecuados en la planta se calcula por la ecuación:

$$Q = 34500 F(A_{wet})^{0.82}$$

Donde, Q = Calor total de absorción, Btu/h.

$A_{wet}$  = Área de superficie húmeda total, ft<sup>2</sup>.

F = Factor ambiental. Referido en la siguiente tabla:

| Type of equipment                                                                                               | Environment factor |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|
| Bare Vessel                                                                                                     | 1,0                |        |
| Insulated vessel, with insulation conductance values for fire exposure conditions in Btu/h-ft <sup>2</sup> ·°F. | 4                  | 0,3    |
|                                                                                                                 | 2                  | 0,15   |
|                                                                                                                 | 1                  | 0,075  |
|                                                                                                                 | 0,67               | 0,05   |
|                                                                                                                 | 0,5                | 0,0376 |
|                                                                                                                 | 0,4                | 0,03   |
|                                                                                                                 | 0,33               | 0,026  |
| Water-application facilities, on bare vessel                                                                    | 1,0                |        |
| Depressurizing and emptying facilities                                                                          | 1,0                |        |
| Earth-covered storage                                                                                           | 0,03               |        |
| Below-grade storage                                                                                             | 0,00               |        |

Fuente: Norma API 521, Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems.

Lectura del calor latente de vaporización ( $\Delta H_v$ ) teniendo en cuenta los valores de temperatura y presión de relevo en la Figura A.1 de la Norma API 521.

Se calcula el relevo por medio de la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Q}{\Delta H_v}$$

Donde, Q = Calor total de absorción, Btu/h.

$\Delta H_v$  = Calor latente de vaporización, Btu/Lb.

B. Falla de energía eléctrica.

Algunas consideraciones a tener en cuenta son:

Todo equipo eléctrico (Bombas eléctricas, ventiladores, entre otros) se apagaran, causando pérdidas de pump-arounds, de reciclos, de transferencia de calor debido al no funcionamiento de los ventiladores de aire y hasta inundación en el equipo dependiendo de la ubicación de las bombas.

C. Operación inadvertida de válvula.

Algunas consideraciones a tener en cuenta son:

Se puede presentar bloqueo a la entrada o salida de un equipo, debido al cierre accidental de una válvula de este tipo.

Todas las demás corrientes que no tengan instaladas válvulas de bloqueo ni a la entrada ni a la salida operan normalmente.

El flujo a relevar será equivalente a la cantidad de vapor que sale por el plato de cima de la torre.

Se calcula el flujo de vapor en la cima de la torre.

$W_{relevo}$  = flujo de vapor en el plato de cima de la torre, Lb/h.

#### D. Falla en agua de enfriamiento.

Algunas consideraciones a tener en cuenta son:

Perdida de intercambiadores de calor que trabajan con este tipo de servicio. Estos intercambiadores tendrán un efecto en el flujo de relevo del equipo a estudiar.

Por pérdidas de transferencia de calor se evidencia un incremento de temperatura por encima de las condiciones normales de operación en algunas corrientes de sistema.

Se genera un aumento en los vapores de cima debido a que no se presenta condensación en los pump-arounds.

Teniendo en cuenta el flujo de salida de vapores por el plato de cima de la torre, calculamos el flujo de relevo adicionando el vapor no condensado en los pump-arounds de la torre que trabajan con agua de enfriamiento como medio de refrigeración.

Se debe tener en cuenta que los intercambiadores que no trabajan con agua de enfriamiento continúan operando normalmente.

$W_{relevo} = \text{flujo en el plato de cima} + \text{vapor no condensado} - \text{vapor condensado por equipos en funcionamiento}$ .

#### E. Falla en aire de instrumentos.

Todos los pump-arounds se bloquean ya que sus válvulas de control tienen falla cerrada.

La válvula de control del reciclo de la cima de la torre tiene falla abierta.

El tambor se llenara de líquido bloqueando la salida de vapores hacia el compresor, en un tiempo aproximado de 15 min.

Se debe tener en cuenta el flujo de vapor en el plato de cima de la torre y los sistemas de intercambio de calor que operan normalmente.

Wrelevo = Flujo de vapor en plato de cima – Vapor condensado por intercambiadores en operación.

### **Anexo C. Procedimiento para el cálculo de áreas de orificio para los diferentes tipos de fluido de trabajo de válvulas de seguridad.**

Se debe tener en cuenta el tipo de fluido de proceso que fluye por la tubería donde se encuentra instalado el sistema de alivio, ya que debido a su estado (gas o vapor, vapor de agua, líquido y mezcla líquido-vapor) se procede al dimensionamiento de las válvulas de seguridad. Y en el caso de que el fluido sea gas o vapor en flujo crítico; vapor de agua o líquido se debe conocer con qué tipo de válvula se está trabajando o se desea trabajar (Convencional, Balanceada o Piloto).

Dimensionamiento para relevo de Gas o Vapor.

Se debe evaluar si este flujo es crítico o subcrítico. Para esto seguimos los siguientes pasos:

Determinamos el cociente de presión crítica en la boquilla:

$$\frac{P_{cf}}{P_1} = \left[ \frac{2}{K+1} \right]^{K/(K-1)}$$

Si  $P_2/P_1 > P_{cf}/P_1$  el flujo es subcrítico, pero si  $P_2/P_1 \leq P_{cf}/P_1$  el flujo es crítico.

Donde,  $P_2$  = Contrapresión.

$P_1$  = Presión de relevo.

$K$  = Cociente de calores específicos para gases ideales.

$P_{cf}$  = Presión de flujo crítico.

Si el flujo es crítico el procedimiento a seguir es el siguiente:

Los dispositivos de alivio de presión en servicio de gas o vapor operando a condiciones de flujo crítico se pueden dimensionar utilizando la siguiente ecuación en el sistema ingles:

$$A = \frac{W}{CK_d P_1 K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}}$$

Donde, A = Área de descarga efectiva requerida.

W = Flujo requerido a través del dispositivo.

Teniendo en cuenta el tipo de válvula que se desea dimensionar, ya sea convencional, piloto o balanceada.

Para entender y tener más claridad acerca de las variables a utilizar en esta ecuación y su forma de obtención, se recomienda mirar la Sección 3.6.2 de la Norma API 520.

Si el flujo es subcritico el procedimiento a seguir es el siguiente:

Se pueden dimensionar utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde, A = Área de descarga efectiva requerida.

W = Flujo requerido a través del dispositivo.

Kd = Coeficiente efectivo de descarga.

= 0,975; cuando una válvula de alivio de presión es instalada con o sin disco de ruptura.

= 0,62; cuando no está instalada una válvula de alivio de presión si no un disco de ruptura.

$F_2$  = Coeficiente de flujo subcritico.

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{K}{K-1}\right) (r)^{2/K} \left[\frac{1-r^{(K-1)/K}}{1-r}\right]}$$

Para entender y tener más claridad acerca de las variables a utilizar en estas ecuaciones y su forma de obtención, se recomienda mirar la Sección 3.6.3 de la Norma API 520.

Dimensionamiento para relevo de Vapor de Agua.

Los dispositivos de alivio de presión en servicio de vapor de agua se pueden dimensionar utilizando la siguiente ecuación en el sistema inglés:

$$A = \frac{W}{51.5 * P_1 K_d K_b K_c K_N K_{SH}}$$

Donde, W = Flujo requerido a través del dispositivo.

P1 = Presión de relevo.

Kd = Coeficiente efectivo de descarga.

= 0,975; cuando una válvula de alivio de presión es instalada con o sin disco de ruptura.

= 0,62; cuando no está instalada una válvula de alivio de presión si no un disco de ruptura.

$K_N$  = Factor de corrección de Napier.

= 1; Si  $P_1 \leq 1500$  psia.

=  $\frac{0,1906 * P_1 - 1000}{0,2292 * P_1 - 1061}$ ; Si  $1500 \text{ psia} < P_1 \leq 3200 \text{ psia}$ .

Teniendo en cuenta el tipo de válvula que se desea dimensionar, ya sea convencional, piloto o balanceada.

Dimensionamiento para relevo de Líquido.

Los dispositivos de alivio de presión en servicio de Líquido se pueden dimensionar utilizando la siguiente ecuación en el sistema ingles:

Primero se dimensiona sin corrección de viscosidad ( $K_V = 1$ ).

$$A = \frac{Q}{38 * K_d K_w K_c K_v \sqrt{\frac{G}{P_1 - P_2}}}$$

Donde, Q = Rata de flujo, gal/min.

G = Gravedad especifica del liquido.

P1 = Presión de relevo.

P2 = Contrapresión.

$K_w$  = Factor de corrección debido a la contrapresión.

Se calcula el numero de Reynolds usando la ecuación:

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

Donde,  $\mu$  = Viscosidad absoluta, centipoise.

Finalmente se calcula el área requerida cuando se tiene corrección de viscosidad:

$$A2 = \frac{A1}{K_v}$$

Donde, A1 = área calculada sin corrección de viscosidad.

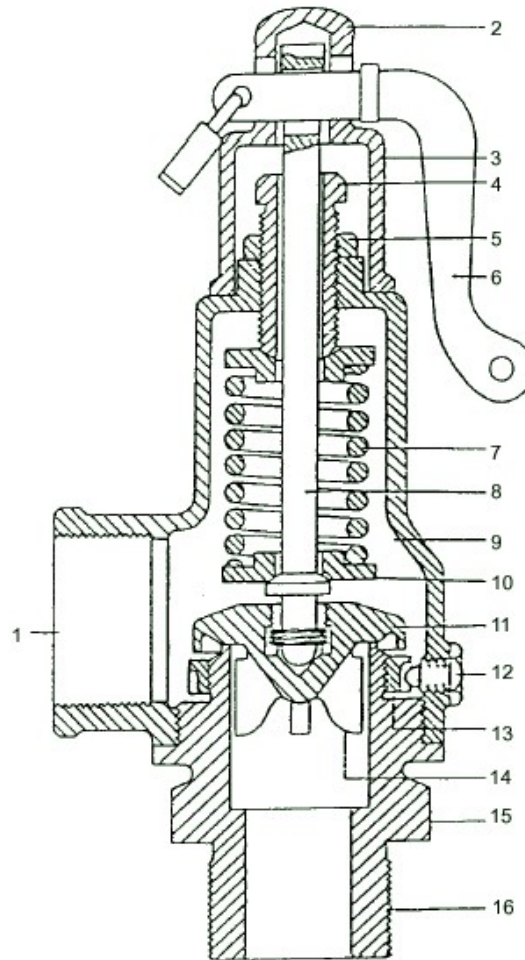
$K_v$  = leído con el valor de Reynolds en la figura 36 de la Norma API 520.

Se debe tener en cuenta el tipo de válvula que se desea dimensionar, ya sea convencional, piloto o balanceada.

**Anexo D. Tabla para lectura de área efectiva de orificio estándar y letra designada.**

| Letra Designada | Área Efectiva de Orificio |
|-----------------|---------------------------|
| D               | 0,110                     |
| E               | 0,196                     |
| F               | 0,307                     |
| G               | 0,503                     |
| H               | 0,785                     |
| J               | 1,287                     |
| K               | 1,838                     |
| L               | 2,853                     |
| M               | 3,60                      |
| N               | 4,34                      |
| P               | 6,38                      |
| Q               | 11,05                     |
| R               | 16                        |
| T               | 26                        |

## Anexo E. Imagen de válvula de alivio de presión.



1. Boca de salida lateral.
2. Caperuza.
3. Sombrerete o bonete.
4. Tornillo de ajuste.
5. Tuerca de fijación del ajuste.
6. Palanca de apertura manual.
7. Resorte.
8. Husillo o vástago.
9. Cuerpo.
10. Placa del extremo del resorte.
11. Disco de cierre de la válvula.
12. Tornillo de fijación del anillo de ajuste.
13. Anillo de ajuste del escape.
14. Elemento de guiado en parte inferior.
15. Asiento.
16. Conexión roscada al recipiente.

## Anexo F. Esquema de simulación de la torre fraccionadora principal en el simulador PRO II.

