

**APLICACION DEL PROGRAMA ESTADÍSTICO WEIBULL PARA  
ESTABLECER UN MODELO DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE  
MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE ALIVIO (DESAHOGO) DE  
PRESION EN LA REFINERIA ECOPETROL S.A.**

INTEGRANTES

LEONARDO JOSE JULIO VÉLEZ.

Cod: 06-03-861.

MANUEL FERNANDEZ GUZMAN.

Cod: 01-03-042.

DIRECTOR

ING. JULIO BURBANO

PROPUESTA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS MECÁNICA Y MECATRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2008

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCION.</b>	<b>8</b>
<b>OBJETIVOS.</b>	<b>10</b>
<b>1. DISPOSITIVOS PARA DESAHOGO (ALIVIO) DE PRESION.</b>	<b>11</b>
<b>2. CLASIFICACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE PRESIÓN.</b>	<b>13</b>
<b>2.1. VÁLVULA DE ALIVIO O DESAHOGO.</b>	<b>13</b>
<b>2.1.1. VÁLVULA DE ALIVIO O DESAHOGO DE EXPANSIÓN TÉRMICA.</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2. VÁLVULA COMBINADA REGULADORA Y DESAHOGO (O ALIVIO) DE PRESIÓN.</b>	<b>13</b>
<b>2.2. VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO.</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1. VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO CONVENCIONAL.</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2. VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO BALANCEADA.</b>	<b>17</b>
<b>2.3. VÁLVULA DE SEGURIDAD.</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1. LAS VÁLVULAS DE BOQUILLA COMPLETA.</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2. LAS VÁLVULAS DE SEMIBOQUILLA.</b>	<b>19</b>
<b>2.3.3. RESORTE DESCUBIERTO Y PALANCA DE ELEVACIÓN.</b>	<b>19</b>
<b>3. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESION.</b>	<b>20</b>
<b>3.1.TENIENDO EN CUENTA SU FORMA DE OPERACIÓN.</b>	<b>20</b>
<b>3.1.1. VÁLVULA OPERADA POR PILOTO.</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2. VÁLVULA OPERADA POR RESORTE.</b>	<b>22</b>
<b>3.2.TENIENDO EN CUENTA SU MATERIAL DE FABRICACIÓN.</b>	<b>24</b>
<b>4. ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE UNA VÁLVULA DE SEGURIDAD.</b>	<b>26</b>
<b>5. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y DE ALIVIO.</b>	<b>30</b>

<b>6. DISCOS DE RUPTURA.</b>	<b>36</b>
<b>7. PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO EN LA REFINERIA DE ECOPETROL S.A.</b>	<b>39</b>
<b>7.1. PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO EN TALLER.</b>	<b>40</b>
<b>7.2. DESARME-LIMPIEZA-INSPECCIÓN (MANTENIMIENTO).</b>	<b>48</b>
<b>7.3. REPUESTOS Y/O VÁLVULAS DE REPLAZO.</b>	<b>59</b>
<b>7.4. VERIFICACIONES ANTES DE ARMAR.</b>	<b>60</b>
<b>7.5. ARMADO.</b>	<b>62</b>
<b>7.6. PRUEBA DE DISPARO FINAL EN BANCO.</b>	<b>62</b>
<b>8. APLICACION DEL PROGRAMA ESTADÍSTICO WEIBULL PARA ESTABLECER UN MODELO DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESION (DESAHOGO) EN LA REFINERIA ECOPETROL S.A.</b>	<b>67</b>
<b>8.1. MODELO WEIBULL.</b>	<b>69</b>
<b>8.2. MODELO ESTADÍSTICO DE FALLAS (PROBABILIDAD DE FALLA) EN LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESION.</b>	<b>71</b>
<b>8.3. MODOS DE FALLA PARA VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO.</b>	<b>72</b>
<b>8.3.1. FALLA PARA OPERAR O FAIL TO OPEN (FTO).</b>	<b>72</b>
<b>8.3.2. FALLA POR FUGA O ESCURRIENTO (FFO).</b>	<b>72</b>
<b>8.3.3. FALLA POR TRAQUETEEO (FPT).</b>	<b>73</b>
<b>8.3.4. ABERTURA FALSA (SPO).</b>	<b>74</b>
<b>8.4. INTERVALO DE MANTENIMIENTO.</b>	<b>76</b>
<b>8.4.1. DISPONIBILIDAD REQUERIDA.</b>	<b>76</b>
<b>8.5. FUENTES DE DATOS DE LAS VALVULAS DE LA REFINERIA ECOPETROL (HISTORIAL DE MANTENIMIENTO).</b>	<b>77</b>
<b>8.6. ANALISIS WEIBULL DE LAS VALVULAS.</b>	<b>80</b>
<b>8.6.1. ANÁLISIS EN WEIBULL DE LA VÁLVULA “PSSV304A”.</b>	<b>81</b>
<b>8.6.2. ANÁLISIS EN WEIBULL DE LA VÁLVULA “VBSV205”.</b>	<b>82</b>
<b>8.6.3. ANÁLISIS EN WEIBULL DE LA VÁLVULA “FFSV551A”.</b>	<b>84</b>

<b>8.7.COMPARACION DE LOS ANÁLISIS DE LAS VALVULAS.</b>	<b>85</b>
<b>8.8.CURVA DE CONFIABILIDAD DE LAS VALVULAS.</b>	<b>86</b>
<b>9. ANTECEDENTES.</b>	<b>87</b>
<b>9.1.RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE.</b>	<b>87</b>
<b>9.2.VIDA ÚTIL.</b>	<b>88</b>
<b>9.3.BANCOS DE PRUEBAS.</b>	<b>89</b>
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>90</b>
<b>GLOSARIO DE TERMINOS</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>92</b>

## ***LISTA DE FIGURAS***

	<b>Pág.</b>
<b><i>FIGURA 1.</i></b> Válvula de alivio o desahogo de expansión térmica.	14
<b><i>FIGURA 2.</i></b> Válvula de seguridad-alivio (o desahogo).	16
<b><i>FIGURA 3.</i></b> Válvula de seguridad-alivio convencional.	17
<b><i>FIGURA 4.</i></b> Válvula de seguridad-alivio balanceada.	17
<b><i>FIGURA 5a.</i></b> Válvulas de seguridad.	19
<b><i>FIGURA 5b.</i></b> Válvula de seguridad de boquilla completa.	18
<b><i>FIGURA 6.</i></b> Válvulas operadas por piloto de seguridad de acción de disparo.	21
<b><i>FIGURA 7.</i></b> Válvula operada por piloto de alivio de acción modulante.	22
<b><i>FIGURA 8.</i></b> Elementos que constituyen una válvula de seguridad.	29
<b><i>FIGURA 9.</i></b> Disco de cierre. Principio de la válvula de seguridad.	31
<b><i>FIGURA 10.</i></b> Detalles de construcción de válvulas típicas de desahogo de presión para las industrias de procesos químicos.	32
<b><i>FIGURA 11.</i></b> Servicio con líquidos: valores relativos de presión de válvulas de desahogo en relación con la presión de graduación.	33
<b><i>FIGURA 12.</i></b> Servicio con gases y vapores: valores relativos de presión para válvulas de seguridad en relación con la presión de graduación.	34
<b><i>FIGURA 13.</i></b> Discos de ruptura.	37
<b><i>FIGURA 14.</i></b> Los discos de ruptura protegen los sistemas del proceso.	38
<b><i>FIGURA 15.</i></b> Banco de prueba de ECOPETROL.	41
<b><i>FIGURA 16.</i></b> Prueba preliminar de disparo instalación de la válvula en forma vertical.	42
<b><i>FIGURA 17.</i></b> Formato de la prueba preliminar de disparo.	47
<b><i>FIGURA 18.</i></b> Válvula de seguridad. Calibrador de presión interno.	48
<b><i>FIGURA 19.</i></b> Válvula de seguridad de sello de asiento metal con metal.	48
<b><i>FIGURA 20.</i></b> Tobera de una válvula de seguridad orificio de escape (sello de asiento metal con metal).	48

<b>FIGURA 21. Disco de una válvula de seguridad de sello de asiento metal con metal.</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 22. Lapeador de hierro fundido.</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 23. Pasta abrasiva.</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 24. Asientos de la tobera de una válvula de alivio con asiento metálico.</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 25. Lapeador de hierro fundido.</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 26. Disco de sello de asiento metal con metal.</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 27. Sello de asiento metal con metal.</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 28. Diseño de sello de asiento de anillo tórico.</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 29. Operación de lapeado en forma de ocho.</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 30. Operación de remaquinado de lapeadores en el torno.</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 31. Operación de maquinado de asiento de la tobera.</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 32. Asiento de la tobera en una válvula real.</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 33. Maquinado de los asientos metal con metal.</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA 34. Maquinado de los asientos de sello de anillo tórico.</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 35. Vástago de una válvula.</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 36. Vástago de una válvula de alivio de seguridad real.</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 37. Resorte de una válvula de alivio de presión.</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 38. Grafica de la bañera.</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 39. Análisis weibull de la válvula pssv304a.</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 40. Análisis weibull de la válvula vbsv205.</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 41. Análisis weibull de la válvula ffsv551a.</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 42. Comparación de probabilidad de falla.</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 43. Curva de confiabilidad.</b>	<b>86</b>

## ***LISTA DE TABLAS***

	<b>Pág.</b>
<b><i>TABLA I.</i></b> Características generales, ventajas, desventajas y usos típicos de los dispositivos de desahogo de presión.	<b>24</b>
<b><i>TABLA II.</i></b> Velocidad de fuga para válvulas con asiento metal con metal.	<b>43</b>
<b><i>TABLA III.</i></b> Presión de prueba para válvulas de asiento de anillo tórico.	<b>43</b>
<b><i>TABLA IV.</i></b> Diámetros requeridos para los tipos de orificio de asientos de metal con metal y sello de anillo tórico.	<b>56</b>
<b><i>TABLA V.</i></b> Capacidades representativas de una válvula de desahogo. Código ASME b16-5.	<b>57</b>
<b><i>TABLA VI.</i></b> Multiplicadores de presión prefijada para CDS a temperatura ambiente.	<b>64</b>
<b><i>TABLA VII.</i></b> Multiplicadores de presión prefijada a temperatura saturada.	<b>65</b>
<b><i>TABLA VIII.</i></b> Válvulas a analizar.	<b>68</b>
<b><i>TABLA IX.</i></b> Válvula pssv304a.	<b>78</b>
<b><i>TABLA X.</i></b> Válvula vbsv205.	<b>78</b>
<b><i>TABLA XI.</i></b> Válvula ffsv551a.	<b>79</b>

## ***INTRODUCCION.***

Muchas industrias de hoy en día operan con componentes que están sometidos a presiones tales como calderas, reactores, recalentadores y tanques de almacenamientos. La refinería ECOPETROL, en el proceso de la extracción de los derivados del petróleo, utiliza muchos de estos componentes a presión.

Al trabajar con estos componentes constituye un riesgo en cuestión de seguridad para todas aquellas industrias y personas que la rodea, ya que las presiones a la que están sometidos los componentes, pueden sobrepasar los límites del diseño. Esto puede ocasionar explosiones graves con consecuencias para las personas, el ambiente o las instalaciones.

Para evitar esto, se instalan dispositivos que alivian la presión de estos componentes llamados sistemas de alivio o desahogo de presión. Los cuales permiten por medio de una descarga del fluido contenido, aliviar el exceso de presión. Así, estos sistemas constituyen un elemento clave en la seguridad y son utilizados ampliamente no solo en esta refinería sino en todo el sector industrial que lo requiera.

El mantenimiento en estos sistemas es importante, ya que, como todo dispositivo no esta exento a fallar y más cuando estos se encuentran obstruidos por la suciedad, depósitos, corrosión, etc. En la actualidad muchas de las empresas no llevan un control sobre el mantenimiento de estos sistemas, presentando fallas y como tal consecuencia catastrófica.

La refinería de ECOPETROL, mantiene un control del mantenimiento de estos sistemas, pero muchas veces este es aplicado antes o después que lo requieran, haciendo innecesaria esta labor.

Por esto, este trabajo esta enfocado en la **APLICACION DEL PROGRAMA ESTADÍSTICO WEIBULL PARA ESTABLECER UN MODELO DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE ALIVIO (DESAHOGO) DE PRESION EN LA REFINERIA ECOPETROL S.A.**, tomando como base la clasificación de los tipos de sistemas de alivio o desahogo (válvulas de seguridad, alivio y discos de rupturas), haciendo las pruebas pertinentes y teniendo en cuenta el disparo en frío y en caliente, para así tener un modelo que sea aplicativo tanto en esta empresa como en cualquiera otra que lo requiera. En esta monografía empezaremos estableciendo los objetivos primordiales y luego hablaremos de estos sistemas de alivio de presión, sus características, los tipos de sistemas de alivio, operación, mantenimiento, los bancos de pruebas, etc., para así finalizar con el análisis de algunas válvulas de alivio de presión instaladas en la refinería basándonos en el programa estadístico de WEIBULL.

## **OBJETIVOS**

- *Adquirir conocimiento de estos dispositivos, sus características, su operación, mal funcionamiento y todo lo referente a estos sistemas de alivio de presión.*
- *Aumentar la frecuencia de mantenimiento sosteniendo una confiabilidad del 70% para los sistemas de alivio en la Refinería de Cartagena (ECOPETROL S.A.).*
- *Modelar el comportamiento de las fallas mediante el programa estadístico Weibull y así determinar parámetros como frecuencia optima de mantenimiento.*

## ***1. DISPOSITIVOS PARA DESAHOGO (ALIVIO) DE PRESION***

Como ya se dijo anteriormente los dispositivos de alivio de presión son elementos que actúan cuando la presión de operación de algún componente es sobrepasada, descargando una parte del fluido contenido y llevando la presión de operación normal a la cual debe estar el equipo, cumpliendo así la importante función de brindar *seguridad*<sup>1</sup>.

Por estar ubicados en la parte superior de un sistema presurizado los dispositivos de alivio de presión se consideran un poco complicados a la hora de aplicarle el mantenimiento. Dicho mantenimiento juega un papel fundamental ya que se espera que el dispositivo alivie el exceso de presión en el sistema y regresen las cosas a la normalidad sin que este presente ningún tipo de falla.

Un dispositivo de alivio de presión se puede comparar con algo parecido a un extinguidor. Si tenemos el caso de que repentinamente nuestro automóvil se incendiara, ¿Qué haríamos en este caso? Lo más lógico sería buscar el extinguidor y esperar a que este funcione correctamente; pero si ocurre todo lo contrario, que este no funciona, seguramente en ese momento desearíamos conocer ampliamente el funcionamiento del extinguidor, lamentando el no haber tenido el cuidado necesario para verificar el funcionamiento y mantenimiento adecuado que requieren este dispositivos de seguridad. Un extinguidor y un dispositivo de alivio de presión son parecidos, pues en el caso de que se presente una emergencia en el sistema, se espera que estos dispositivos de seguridad realicen su trabajo sin ningún problema.

Por todo lo anterior, las válvulas de alivio de presión son dispositivos que están ampliamente reglamentados, debido a que son muchas las cosas que suceden en su interior y normalmente poco sabemos de ellas, pues todo lo que pedimos es que funcionen cuando

---

<sup>1</sup> *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.

las cosas anden mal. Estas normas o reglamentos son designados por organismos certificados a nivel mundial como es el API<sup>2</sup> RP 5-20 y el código ASME<sup>3</sup> Sección 1, PG-67.

En el mundo existen varios tipos de dispositivos de alivio de presión, pero como ya sabemos este trabajo esta enfocado a la refinería de ECOPETROL de la ciudad de Cartagena, por lo tanto nos limitaremos a hablar de los tipos de sistemas de alivio instalados en esta empresa. Sin embargo este trabajo puede ser aplicado en otras empresas que manejen estos dispositivos, sirviendo como modelo para optimizar y aumentar la frecuencia del mantenimiento con la ayuda del programa estadístico **WEIBULL**.

---

<sup>2</sup> *American Petroleum Institute*: es una institución encargada de generar códigos, normas y recomendaciones de los diferentes equipos y dispositivos instalados en las refinerías petroleras del mundo.

<sup>3</sup> *American Standards Mechanical Engineers*: es el organismo que define las normas de fabricación, diseño y tolerancia de los materiales con el fin de asegurar la vida útil de los mismos y, de esta manera, proteger no Sólo las instalaciones industriales sino también las vidas humanas que trabajan en las mismas.

## ***2. CLASIFICACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE PRESIÓN***

### **2.1. VÁLVULA DE ALIVIO O DESAHOGO**

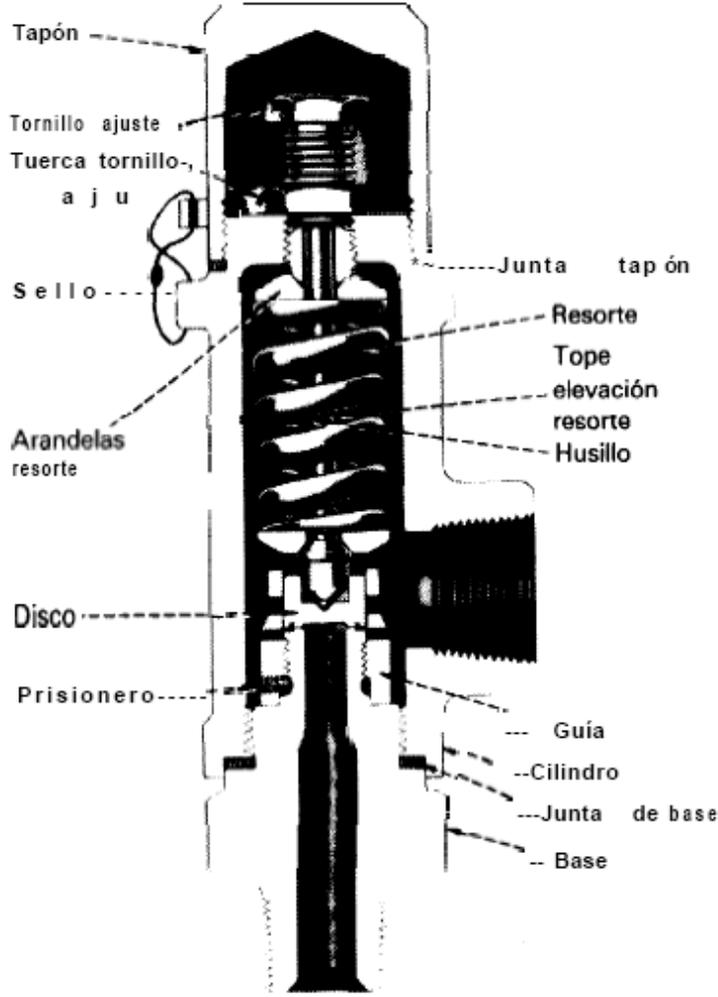
Son utilizadas en manejo de líquidos exclusivamente, se podría definir como un dispositivo automático de cambio de presión, el cual actúa en forma proporcional al incremento de presión.

Con escasa diferencia, todas estas válvulas son pequeñas y tienen rosca de tubo (NPT) en las conexiones. Se les llama de boquilla en la base (Fig. 1), lo cual significa que la boquilla de entrada no es una pieza aparte sino sólo un agujero taladrado en la base del cuerpo. Todas estas válvulas tienen bonetes cerrados. Dentro de las válvulas de alivio podemos encontrar:

**2.1.1. Válvula de alivio o desahogo de *expansión térmica (Figura 1)*.** Este tipo de válvula es generalmente pequeña de conexiones roscadas, casi siempre su descarga nominal es suficiente para aliviar el incremento de presión, eventualmente son empleadas para descargar pequeñas cantidades de líquidos. Son fabricadas en bronce, algunas con asientos elásticos, se utilizan para la dilatación térmica del agua de enfriamiento en los intercambiadores de calor de casco y tubos. También se utilizan en la descarga de las bombas de desplazamiento positivo para la dilatación térmica del líquido en tuberías que se pueden obstruir o que están expuestas a la radiación solar u otras fuentes de calor. Estas válvulas no suelen ser adecuadas para servicio con polímeros porque éstos tienden a sedimentarse y a obstruir o pegar la válvula.

**2.1.2. Válvula combinada reguladora y desahogo (o alivio) de presión.** Se utiliza en sistemas de aceite lubricante para compresores y bombas. Los materiales para los resortes de las válvulas de bonete cerrado son de acero al carbono para servicio a menos de 450 °F.

Para temperaturas mayores a esta, se necesitan resortes con aleación de tungsteno. También existen resortes de acero inoxidable resistentes a la corrosión.



*Figura 1- Válvula de alivio o desahogo de expansión térmica*

## ***2.2. VÁLVULA DE SEGURIDAD-ALIVIO***

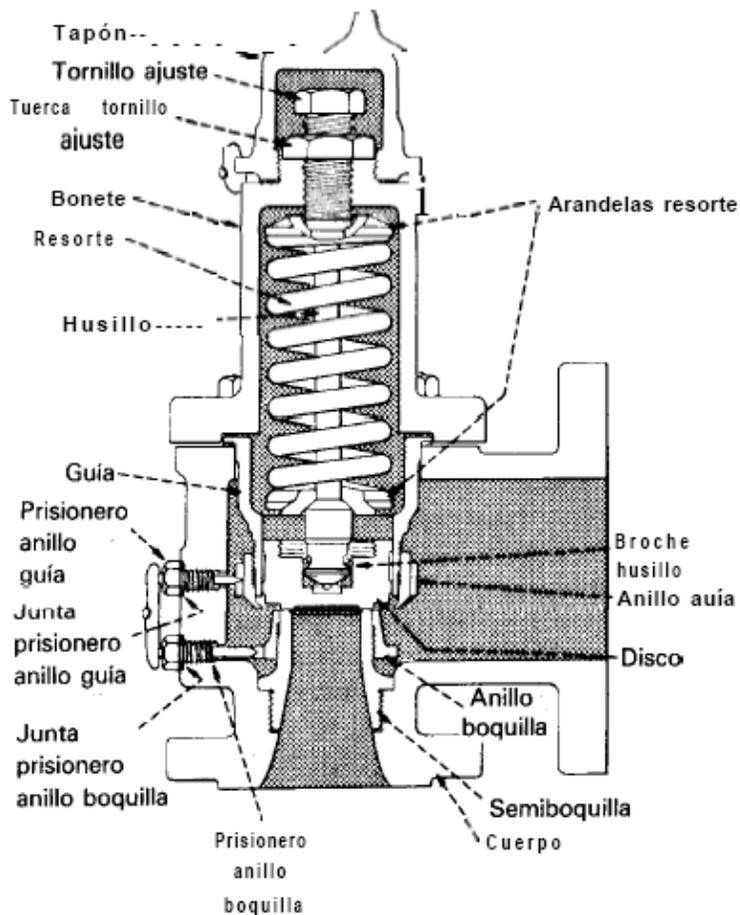
Es un dispositivo automático de cambio de presión, este puede ser utilizado como válvula de seguridad o válvula de alivio<sup>4</sup>. Estas pueden tener las características de estos 2 tipos, pero siempre son de bonete cerrado (Figura 2).

Se puede utilizar en servicio para vapor o calderas, pero debe llevar el sello de certificación de ASME sección 1 para las calderas. En calderas de alta temperatura estas válvulas son obligatorias, pero no pueden ser utilizadas con supercalentador, para el cual se requiere una válvula de seguridad.

La mayor aplicación de las válvulas de desahogo (o alivio) de seguridad se da en los recipientes de presión sin fuego, según el Código ASME. Suelen ser utilizadas en la descarga de bombas y compresores de desplazamiento positivo para la dilatación térmica de líquidos o gases y para servicio general con vapor o aire; en éste caso, es obligatoria una palanca de elevación.

---

<sup>4</sup> Esta definición esta dada por la ASME.

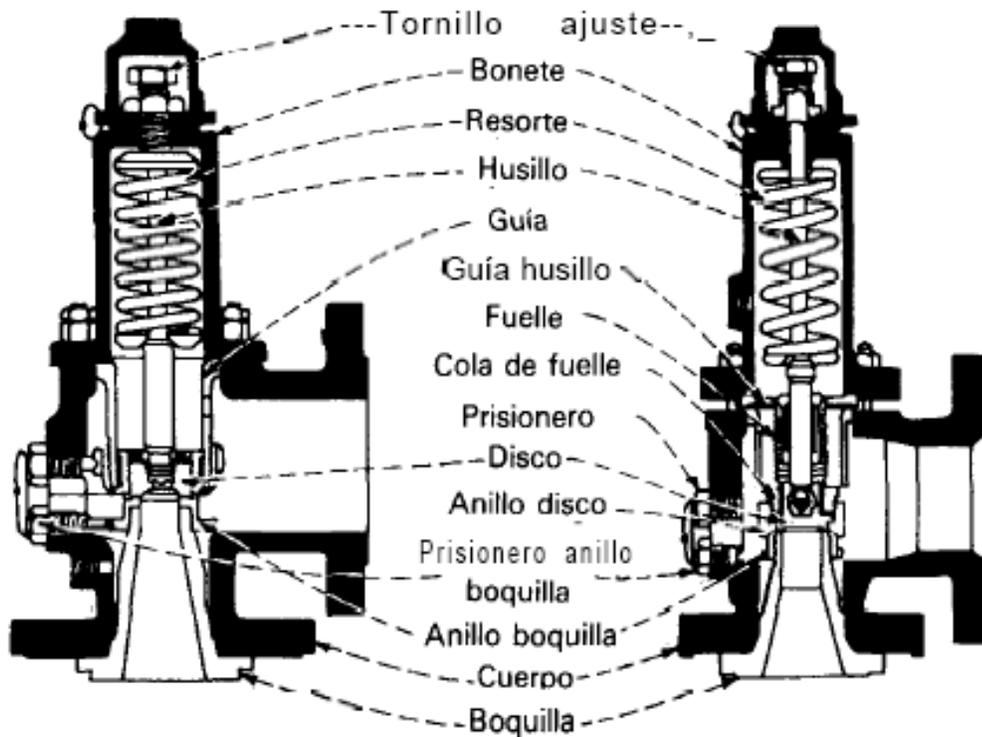


*Figura 2. Válvula de seguridad-alivio (o desahogo)*

La válvula de desahogo, igual que la de seguridad, no debe ser empleada en servicio con polímeros a no ser que la entrada esté aislada del líquido por un disco de ruptura. Dentro de estas válvulas existen las convencionales y las balanceadas:

**2.2.1. Válvula de seguridad-alivio convencional (Figura 3).** Este tipo de válvula se caracteriza debido a que la sección comprendida desde la cámara del resorte hasta la descarga o salida de la válvula es totalmente ventilada, a su vez los cambios de contrapresión de la válvula son directamente proporcionales a las presiones de apertura, cierre y relevo.

2.2.2. *Válvula de seguridad-alivio balanceada (Figura 4)*. Este tipo de válvulas esta conformado por una serie de componentes como: fuelle, guía de husillo, pistón auxiliar de balanceo, restricción del levante o la combinación de éstos; dichos componentes se encargan de disminuir los efectos de contrapresión sobre las características de operación.



*Figura 3 – Válvula de seguridad-alivio convencional*

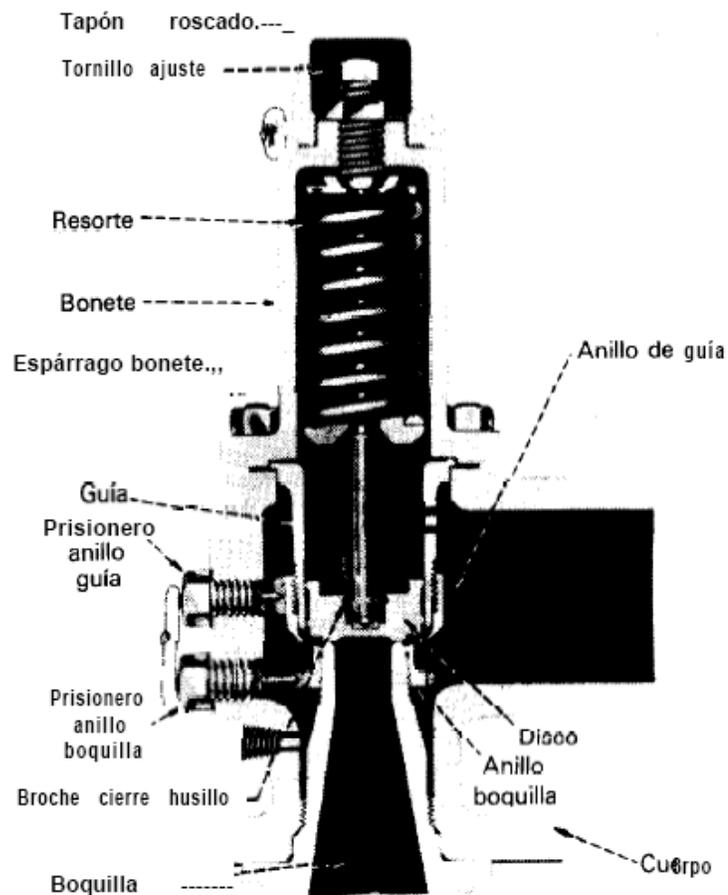
*Figura 4 – Válvula de seguridad-alivio balanceada*

### 2.3. **VÁLVULA DE SEGURIDAD** (figura 5a y b)

Sus principales aplicaciones tienen lugar en el manejo de vapor de agua o aire en calderas, esta es una válvula de cambio de presión, es operada por la presión estática que entra en la válvula, su accionamiento se caracteriza por un disparo súbito o una rápida apertura audible. Cuando son utilizadas para vapor supercalentado de más de 450 °F deben tener cuerpos, bonetes y husillos de acero al carbono o de mejor calidad y los resortes deben estar

totalmente al descubierto. Se caracterizan por presentar conexiones de entrada con brida o extremo soldado, boquilla completa o semiboquilla, resorte descubierto y palanca de elevación.

**2.3.1. Las válvulas de boquilla completa.** tienen conexiones con brida de cara realzada o de unión de anillo. La base de la boquilla forma la cara realzada de la brida. Sólo la boquilla y el disco están en contacto con el fluido, cuando está cerrada la válvula. Las boquillas y discos suelen ser de acero inoxidable o de aleación, según sea la temperatura de servicio (Fig. 5b).



*Figura 5b. Válvula de seguridad de boquilla completa*

2.3.2. *Las válvulas de semiboquilla.* tienen conexiones de extremo soldado o de brida con cara realzada o plana; La boquilla es parte de la brida (Fig. 2).

2.3.3. *Resorte descubierto y palanca de elevación.* tienen una palanca para abrir la válvula si la presión del recipiente no es mayor del 75% de la presión de alivio o desahogo (figura 5a). Este diseño, brinda un alto grado de hermeticidad en los asientos, bonete es abierto y mantiene el resorte a una temperatura adecuada para su funcionamiento.

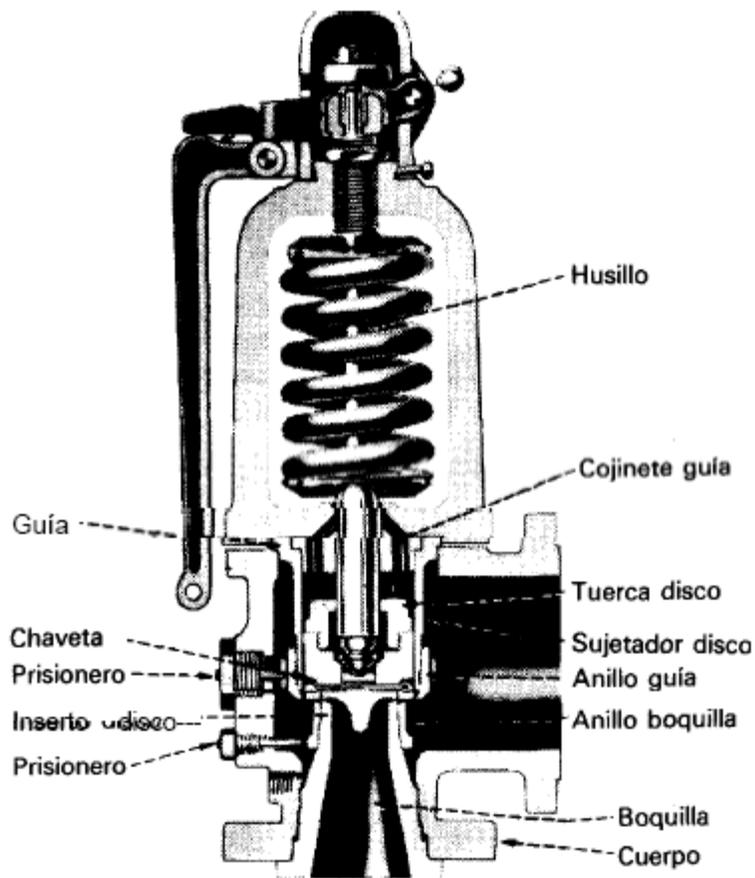


Figura 5a - Válvulas de seguridad.

### ***3. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESION***

A escala industrial, se tienen en cuenta 3 criterios para las válvulas de alivio de presión *la forma de operación, el material de fabricación y la presión de ajuste:*

#### ***3.1. TENIENDO EN CUENTA SU FORMA DE OPERACIÓN***

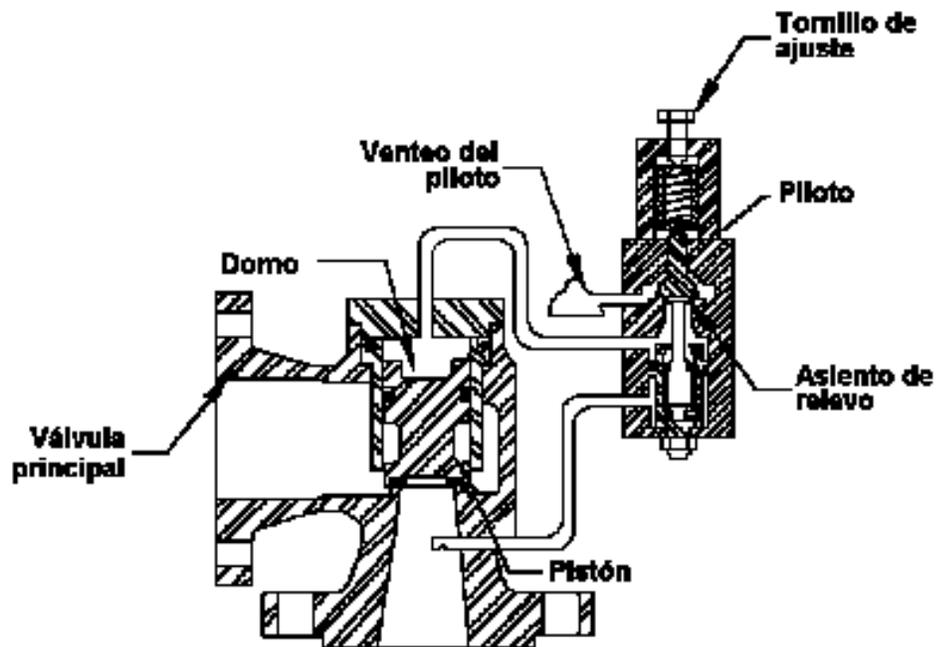
***3.1.1. Válvula operada por piloto.*** Como su nombre lo indica son operadas por un piloto. Son válvulas de cambio de presión en la cual el miembro obturador no balanceado es un pistón, está constituida y controlada por una válvula de relevo de presión auxiliar (piloto), que es una válvula accionada por un resorte. Estas dos unidades que forman la válvula de piloto pueden operar en forma conjunta o separada, pero conectadas entre sí. Las válvulas operadas por piloto operan con gran precisión, ya que el piloto es el sensor que detecta en todo momento la presión del sistema, y al llegar al punto de calibración induce la descarga de la presión que existe en una cámara llamada "domo" localizada en la válvula principal, permitiendo con ello el movimiento del "pistón" (elemento obturador de la válvula principal) que hará que se descargue el exceso de presión del sistema. Existen diferentes tipos de pilotos que, dependiendo de las condiciones del servicio, pueden ser "con flujo" o "sin flujo", y tanto de acción de "disparo y modulante". (Figura 6 y 7, respectivamente).

Las válvulas operadas por piloto son de desahogo de seguridad. Si se utiliza polímeros o pastas aguadas, pueden obstruir el piloto; Prestan un mejor servicio con gas a alta presión, siempre y cuando las temperaturas sean menores de 300°F. No se deben emplear a temperaturas más altas, porque los sellos anulares tienen una temperatura limitada a unos 350°F.

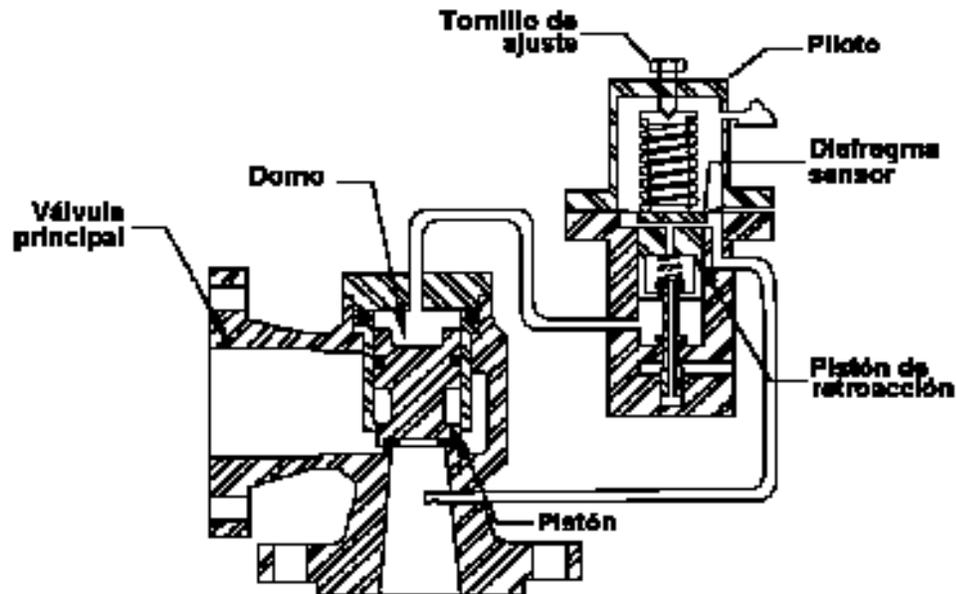
Presentan 3 ventajas con respecto a las otras válvulas:

- Si se requiere purgar manualmente el sistema se pueden operar a control remoto la válvula, siempre y cuando la tubería lo permita.
- Si se monta la válvula piloto cerca del recipiente protegido, la válvula principal puede estar a una distancia considerable y no se moverá porque la válvula piloto no está expuesta a los efectos de las pérdidas por fricción en la tubería.
- Si las válvulas con piloto tienen bridas de salida modificadas estas pueden soportar contrapresiones muy altas, hasta del 90 % de la presión graduada. Estas son utilizadas en la protección de compresores alternativos de etapas múltiples.

En la tabla 1 se muestra una comparación de las características generales, ventajas desventajas y usos típicos de todos los dispositivos de alivio de presión.



*Figura 6 – Válvulas operadas por piloto de seguridad de acción de disparo.*



*Figura 7 – Válvula operada por piloto de alivio de acción modulante.*

**3.1.2. Válvula operada por resorte.** Como su nombre lo indica son operadas por un resorte las cuales son muy comunes, son las que se han hablado anteriormente. Entre ellas podemos encontrar:

- **Las de levante completo o carrera completa:** Esta es una válvula cuyo disco se levanta automáticamente hasta su carrera total, de tal forma que el área de descarga no está determinada por la posición del disco.
- **Las de levante parcial o carrera restringida:** Esta es una válvula cuyo disco automáticamente se levanta hasta una posición específica de su carrera, de tal forma que el área de descarga está determinada por la posición del disco.
- **Las de orificio completo o pasaje de flujo libre:** Esta es una válvula que no tiene estrangulamientos, ya que no produce reducciones de diámetro en el interior del orificio

de flujo y cuyo disco levanta lo suficiente para generar la mínima área del orificio, por encima del asiento, para convertirse en el área que controla el flujo.

<b>TIPO</b>	<b>GENERAL</b>	<b>VENTAJA</b>	<b>DESVENTAJA</b>	<b>SERVICIO RECOMENDADO</b>
<b>Válvula de seguridad</b>	Disponible con semiboquilla o boquilla completa. Tiene resorte descubierto y palanca de elevación.	Bonete abierto aísla al resorte de la temperatura del proceso. Vuelve a cerrar después de descarga.	Solo para vapor de agua. No las hay con fuelle equilibrado; Pero no descarga en sistemas cerrados.	Calderas y servicio genera con vapor ASME.
<b>Válvula de desahogo de seguridad con boquilla completa</b>	La boquilla es la cara realzada de la brida. Se emplea con líquidos y vapores. Tiene bonete cerrado.	Cuerpo de válvula aislado del fluido de proceso cuando no está descargando. Disponible con fuelle equilibrado. Vuelve a cerrar después de descargar.	Sólo para conexiones de cara realzada. No es buena para polímeros. Presión máxima de entrada alrededor de 10 000 psig.	Recipientes de presión sin fuego ASME. Descarga de bombas y compresores en Calderas.
<b>Válvula de desahogo de seguridad de semiboquilla</b>	Para líquidos y vapores. La boquilla es un inserto roscado en la base. Las Conexiones Pueden ser de brida, extremo soldado o roscadas.	Más barata que la de boquilla completa. Disponible con cara plana para instalar en bridas de hierro fundido. Disponible con extremos soldados.	No es buena para polímeros. Presión máxima de entrada unas 1 500 psig. No las hay con fuelle equilibrado.	Recipientes de presión sin fuego ASME. Descarga de bombas y compresores en Calderas.
<b>Válvula de desahogo con boquilla en la base</b>	Boquilla formada con la base de la válvula. Tienen conexiones Roscadas, pero también con brida o extremos soldados. Abre por completo con 25% de sobrepresión. Tiene bonete cerrado.	Disponible en tamaños pequeños. Bajo costo. Vuelve a cerrar después de descargar. Adecuada para materiales tóxicos.	No es buena para polímeros. Presión máxima en la entrada 2000 psig. No las hay con fuelle. No es adecuada para calderas.	Descarga de bombas. Desahogo térmico de tubos, intercambiadores de calor y calentadores de agua.

<b>Válvula de Desahogo para servicio con cloro</b>	Interior protegido con dos diafragmas. Un diafragma aísla la válvula del líquido de proceso; el otro no permite la salida a la atmósfera	Se puede emplear en servicios muy corrosivos. El diafragma de entrada se desgarrará después de que se rompa el pasador de ruptura. El disco vuelve a asentarse después de descargar.	No la hay de tipo equilibrado. Presión máxima de entrada alrededor de 375 psig.	Servicio con cloro y otros productos tóxicos y corrosivos. Carros tanque y depósitos.
<b>Válvula de desahogo de seguridad operada por piloto</b>	Consiste en dos válvulas. La válvula piloto controla a la principal.	Puede soportar alta presión de entrada. Se puede graduar para descargar cerca de la presión de operación. Puede tener operación remota para descarga manual.	No es buena para temperaturas de más de 350 °F. No se recomienda para líquidos sucios, pastas aguadas y polímeros.	Recipientes de presión sin fuego ASME, en especial servicio con gas a alta presión. Para compresores de gasoductos y alternativos.
<b>Disco de ruptura</b>	Consiste en un disco rompible sujeto entre las bridas de otros sujetadores. Dos tipos principales: preabombado y combadura inversa.	No hay piezas móviles que se peguen u obstruyan. Bueno para pastas aguadas, polímeros, materiales tóxicos. No hay fugas. Puede manejar capacidades grandes. Sirve para altas presiones. Respuesta rápida y puede descargar explosiones o detonaciones.	Sujetos a fatiga por esfuerzo. Se descarga toda la presión del sistema cuando se rompe el disco y hay que detener la unidad.	Recipientes de presión sin fuego ASME. Dispositivo primario de desahogo para pastas aguadas o polímeros o en serie con válvulas de desahogo para los anteriores. Se debe usar en serie con válvulas de desahogo para sustancias tóxicas. Servicios a alta presión, explosiones internas, detonaciones.
<b>Respiradero De tanque</b>	Suele ser de doble función, combinada para presión y vacío. En general, son de paleta con pesos.	Se puede graduar para cerrar a la presión de operación. Muy sensible. Se gradúan en onzas por in <sup>2</sup> o fracción.	Sólo para servicio de baja presión. Los materiales de construcción pueden ser problema si se emplea en servicio con productos químicos.	Tanques de petróleo AP RP 2000 sobre el suelo. Sirve para cualquier tanque de almacenamiento a presión atmosférica.
<b>Válvula de desahogo tipo atmosférico</b>	Dos tipos básicos: paleta con pesos y orificios múltiples. Es para servicio con vapor a baja presión.	Gran capacidad de desahogo a bajo costo.	Su tipo tan especial limita sus aplicaciones a servicio con vapor a baja presión.	Condensadores de superficie en la salida de turbinas de vapor con condensación. Suele ser para servicio con vapor a baja presión en el que hay que descargar grandes cantidades.

**Tabla 1. Características generales, ventajas, desventajas y usos típicos de los dispositivos de desahogo de presión.**

### **3.2. TENIENDO EN CUENTA SU MATERIAL DE FABRICACIÓN**

Para el criterio del material de fabricación, tenemos dos tipos, el acero y el bronce, de las cuales su presión de ajuste se estima:

- Para acero se ajusta su presión entre 103,45 y 41 379,31 kPa.
- Para bronce se ajusta su presión entre 34,48 y 2 068,67 kPa.
- Para válvulas de seguridad que funcionan con resorte, se utilizan cuerpos de acero fundido y guarniciones de acero inoxidable. En aplicaciones especiales, se fabrican con cuerpos de Monel, Hastelloy y guarniciones de acero de aleación o acero inoxidable.

***Dependiendo de la temperatura de operación:***

- Se utiliza resortes de acero al carbono para temperaturas de entrada menores de 450 °F; Para temperaturas más altas se necesitan resortes de aleación de tungsteno. Estos resortes están niquelados o aluminizados para resistir la corrosión.
- Otras aleaciones utilizadas para los resortes son Hastelloy, acero inoxidable e Inconel.
- En aplicaciones con bajas temperaturas se utilizan válvulas con cuerpos de acero inoxidable o de acero-níquel al 3.5 %, con guarniciones y resortes de acero inoxidable.
- En las válvulas que funcionan bajo la carga de resorte se utilizan asientos metálicos planos.
- Se utiliza un asiento del tipo sello anular cuando las infiltraciones son difíciles de evitar, ya que es el más adecuado en aplicaciones susceptibles a vibraciones o pulsaciones. Funcionan bien cerca del punto de graduación y líquidos que contienen partículas de sólidos. Según sea la composición del sello anular, la temperatura máxima para descarga debe estar entre 200 y 450°F.

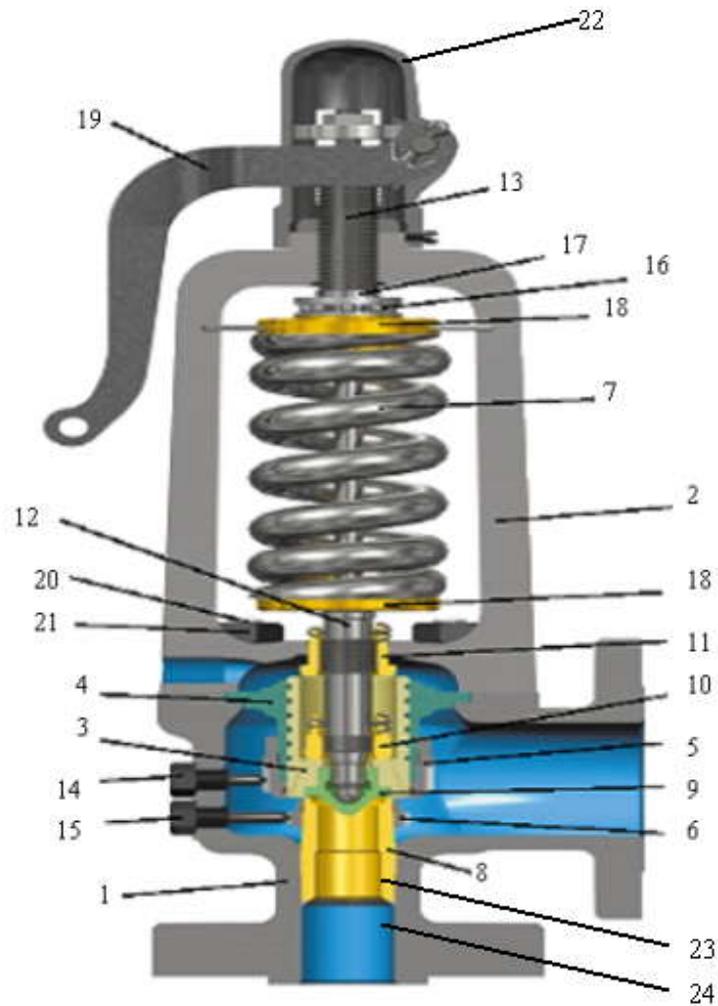
#### ***4. ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE UNA VÁLVULA DE SEGURIDAD***

Los elementos que constituyen una válvula de seguridad son los siguientes (Figura 8):

- **Anillo de ajuste (5 y 6):** Es un componente interno de la válvula cuya posición cambia las fuerzas de apertura y cierre de la misma, esto se hace con el fin de lograr los requisitos marcados por las especificaciones del fabricante. Las válvulas de seguridad poseen dos anillos de ajuste (anillo de tobera o inferior y anillo superior o guía); a su vez las válvulas de seguridad-alivio solamente poseen el anillo de la tobera, mientras que las válvulas de alivio pueden o no poseer anillo superior.
  
- **Asiento (8):** Este puede ser blando o de metal a su vez se denomina como el área de contacto entre el disco y la tobera:
  - **Asiento de metal a metal:** Se denomina así por que los elementos sellantes son de metal, en este caso es casi imposible por medio de este conjunto (disco y tobera) aspirar a conseguir un sellado total, pero el sistema sigue siendo óptimo debido a que siempre evita un gran porcentaje de escape.
  - **Asiento blando:** son básicamente empleados para evitar al máximo fugas de fluidos críticos como el helio, la mayoría están compuestos de materiales como plásticos y elastómeros, de estos materiales depende un sellado formado por superficies suaves, son óptimos para sistemas que presentan vibración y fluidos con tendencia a congelamientos en la zona del sello.
  
- **Base:** por lo general su entrada es roscada y se utiliza para conectar la válvula al sistema, el término solamente es empleado en válvulas pequeñas, a su vez mediante a esta el flujo trancita y conduce el fluido.

- **Cámara de resorte o bonete (2):** Este es un componente externo de la válvula cuya función es albergar el vástago y el resorte. También llamado yugo.
- **Capuchón (22):** Este componente que como tal tiene tres funciones específicas, inicialmente cobija al tornillo de ajuste para protegerlo del medio ambiente, a su vez evita que se modifique la calibración de la válvula y evita que el fluido escape por la parte superior.
- **Cuerpo (1):** Dentro de dicho elemento se encuentran las partes interiores, este tiene conexión de entrada y salida, las cuales pueden ser roscadas, bridadas o de otro tipo.
- **Disco (9):** Es el componente que se encarga de sellar el flujo de la tobera
- **Guía (4):** Es el componente que provoca la alineación y movimiento de las partes móviles.
- **Mordaza de bloqueo o mordaza de prueba:** Es un accesorio empleado para el aislamiento de sistema para una posterior prueba hidrostática del recipiente o calibración de la válvula.
- **Palanca (19):** Dispositivo por el cual se puede accionar la válvula de manera manual a una presión menor a la presión de ajuste, con el fin de comprobar el funcionamiento óptimo de las partes móviles de la válvula.
- **Pistón:** Se encarga de establecer la apertura o cierre de la válvula principal, acorde con la señal enviada por el piloto. Cabe destacar que este es un elemento interno de una válvula operada por un piloto y que por un lado recibe la presión del sistema y por otro lado la presión del piloto.

- **Semitobera (24):** Es un componente interno de la válvula que forma en parte el pasaje de flujo a través del cual entra y se conduce el fluido, esta se encuentra sujeta al cuerpo en forma autónoma o por medio de otro componente.
- **Tobera (23):** Es un componente interno de la válvula que forma en parte el pasaje de flujo desde la conexión al recipiente hasta el asiento, por dicho pasaje entra y se conduce el fluido que es obturado por medio del disco u otro componente móvil.
- **Vástago (12):** Es un componente interno de la válvula que transfiere la fuerza del resorte hacia el disco y que, también sirve de guía para las partes móviles de la válvula, este mantiene la colinealidad de las fuerzas en todo momento.



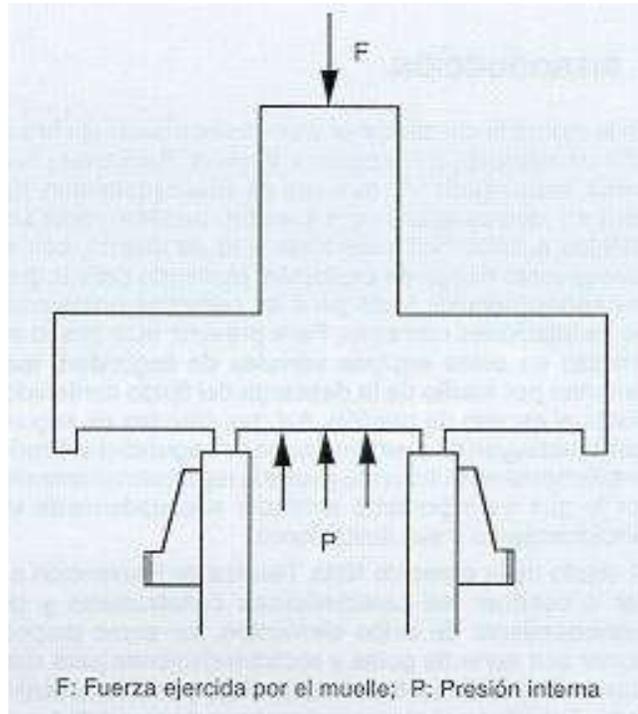
- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1.- Cuerpo                 | 13.- Tornillo compresión      |
| 2.- Yugo                   | 14.- Tornillo ajuste superior |
| 3.- Sostenedor del disco   | 15.- Tornillo ajuste inferior |
| 4.- Guía                   | 16.- Cojinete de empuje       |
| 5.- Anillo ajuste superior | 17.- Tornillo compresión      |
| 6.- Anillo ajuste inferior | 18.- Plato del resorte        |
| 7.- Resorte, muelle        | 19.- Palanca                  |
| 8.- Asiento de tobera      | 20.- Pernos                   |
| 9.- Disco                  | 21.- Tuercas                  |
| 10.- Collar disco          | 22.- Capuchón                 |
| 11.- Limitadora            | 23.- Tobera                   |
| 12.- Vástago               | 24.- Semitobera               |

*Figura 8- Elementos que constituyen una válvula de seguridad*

## ***5. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LAS VALVULAS DE SEGURIDAD Y DE ALIVIO***

Son actuadas por la energía de la presión estática. Cuando en el recipiente o sistema protegido por la válvula se produce un aumento de presión interno ( $P$ ), 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 resorte ( $F$ ). A partir de aquí, un pequeño aumento de presión producirá el levantamiento del disco y permitirá la salida del fluido (Figura 9).

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 de cierre 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. Cuando la presión de entrada disminuye hasta alcanzar la presión de cierre, el disco se mueve hacia abajo, provocando el cierre de la válvula y restringiendo el paso del fluido. 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 que fugue. El diseño del disco térmico permite una rápida igualación de la temperatura alrededor del asiento, y provee un grado de apriete contra el asiento de la tobera.

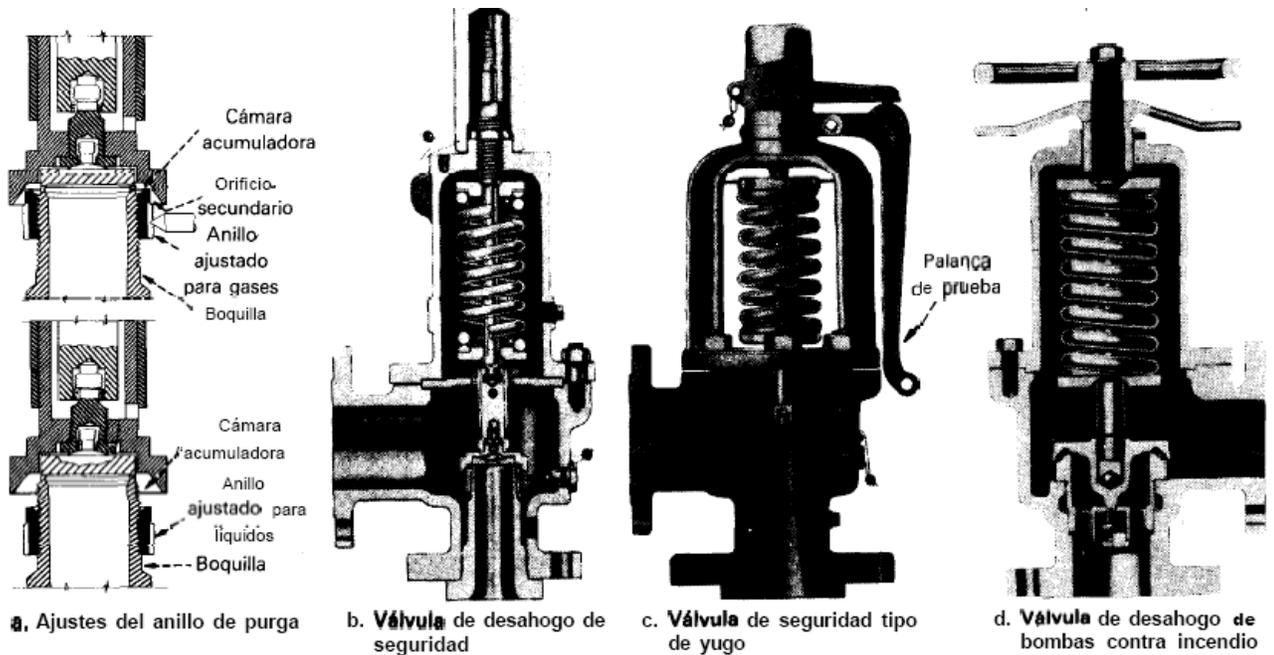


*Figura 9 – Disco de cierre. Principio de la válvula de seguridad.*

Las válvulas en funcionamiento normal de servicio de líquidos y/o vapores pueden presentar fugas o escurrimiento por el asiento, Para evitar estas fugas el resorte se gradúa 10% por encima de la presión normal de funcionamiento. Esta presión graduada “F” es ajustada con un tornillo que se ubica encima del resorte de la válvula. Para evitar que la presión graduada sea modificada una vez calibrada la válvula, el tornillo es encerrado por un tapón roscado (capuchón). Cuando se desea una graduación alterna del resorte, el ajuste no debe variar en  $\pm 10\%$  del ajuste de fábrica hasta 250 psi ni de  $\pm 5\%$  a más de 250 psi.

El resorte puede estar alojado en un bonete, cuando se requiere que el fluido descargado quede confinado en el cuerpo de la válvula. Dependiendo de la capacidad de presión de salida de la válvula se obtiene el tamaño del bonete. En las válvulas del tipo de yugo el resorte está descubierto y se suelen utilizar para servicios con vapor de agua y aire. De acuerdo con el Código ASME, las válvulas de seguridad para vapor de agua deben tener palancas para prueba (Fig. 10c).

A veces las válvulas de desahogo para líquido tienen guías inferiores, es decir, el disco es guiado en el orificio de entrada cuando tiene aspas debajo (Fig. 10d). En las válvulas de desahogo para procesos y calderas tienen guías superiores (Fig. 10b), cuando utiliza vástago, es decir, el disco se guiará en una camisa en el bonete o yugo.



*Figura 10. Detalles de construcción de válvulas típicas de desahogo de presión para las industrias de procesos químicos*

Cuando las válvulas de desahogo para líquidos empiezan a abrir, quiere decir que la presión interna ha llegado al valor de la presión graduada o calibrada y tendrá un aumento gradual hasta que sea de 10 a 33% mayor que la graduada, dependiendo del tipo de servicio. La válvula llega a su plena capacidad con una sobrepresión de 25 %. Las relaciones entre las presiones y las definiciones para válvulas de desahogo convencionales y con fuelle equilibrado se muestran en las figuras 11 y 12.

En la válvula de seguridad de servicio con vapor de agua, aire, gas y vapores, se abre cuando la presión llega al valor de la presión graduada. La presión continuará en aumento, por lo general hasta 3 % a 33 % por arriba de la presión graduada. En este tipo de válvula el disco vuelve a asentarse después de la descarga (también llamada purga) a más o menos 4% por abajo de la presión graduada<sup>5</sup>.

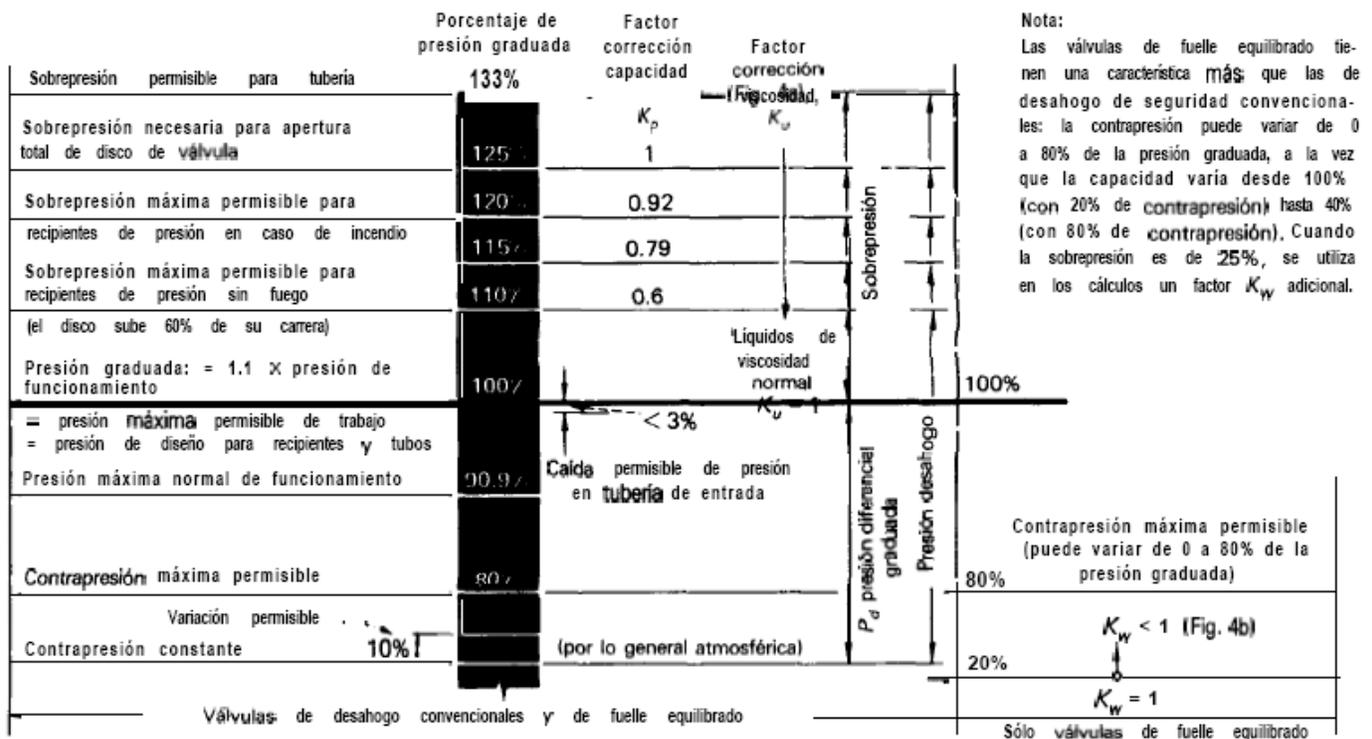


Figura 11. Servicio con líquidos: valores relativos de presión de válvulas de desahogo en relación con la presión de graduación

En válvulas para servicio de gas y vapores, la presión estática abre el disco y lo mantiene abierto una fuerza dinámica. Esta fuerza la produce la velocidad creciente del fluido en la

<sup>5</sup> Válvulas Selección, uso y mantenimiento, Richard W. Greene y Cuerpo de redactores de Chemical Engineering Magazine. McGRAW-HILL.

boquilla cónica debajo del disco y en la parte inferior acampanada del disco, llamada cámara acumuladora de presión (Fig. 10a). La cámara acumuladora desvía el flujo del fluido. La velocidad, la masa del gas y la desviación son proporcionales a la fuerza que mantiene abierto el disco de la válvula.

Se necesita un flujo entre 25 y 30% de la capacidad máxima de la válvula para mantener abierto el asiento del disco de la válvula. Un flujo menor ocasionaría apertura y cierre frecuentes, es decir, traqueteo en la Válvula.

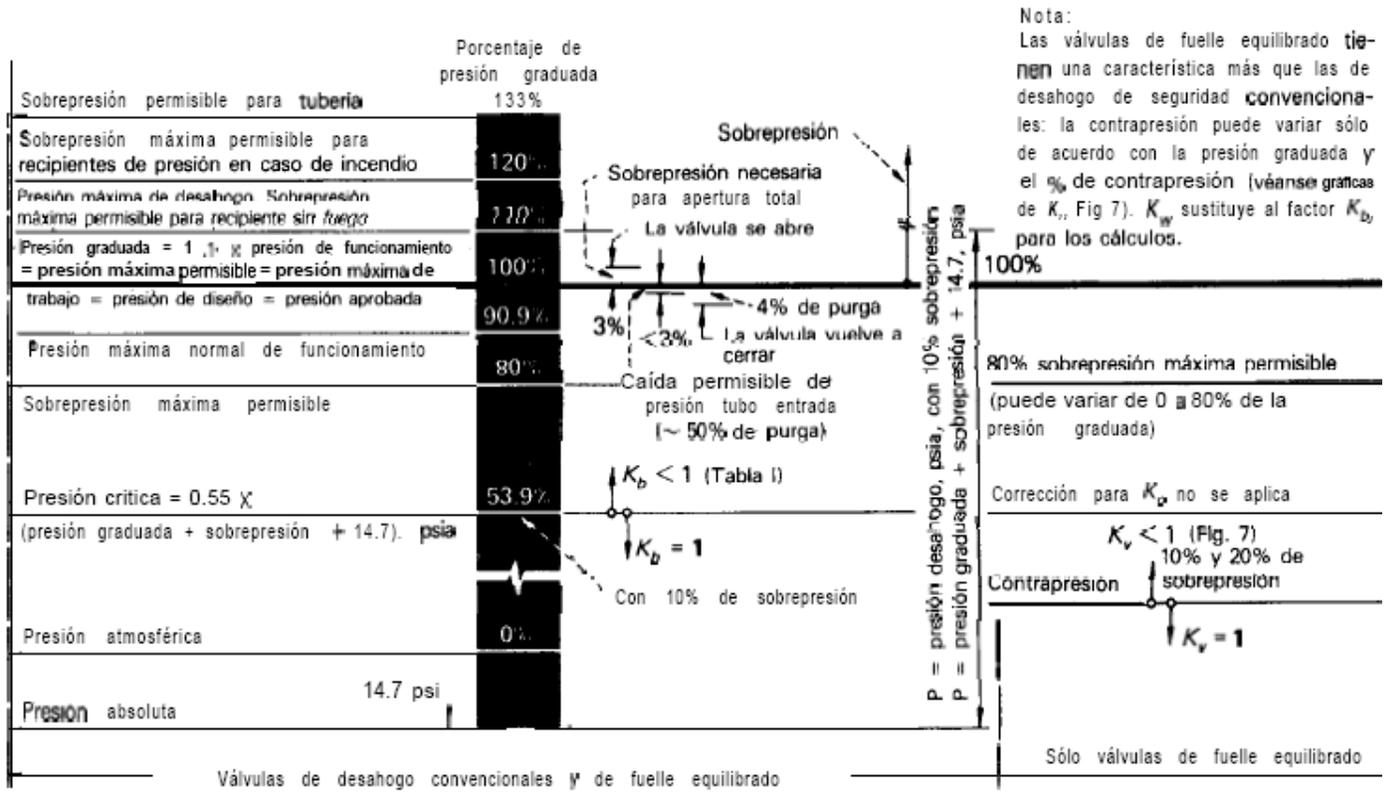


Figura 12. Servicio con gases y vapores: valores relativos de presión para válvulas de seguridad en relación con la presión de graduación

Un anillo ajustable de purga sobresale en la cámara acumuladora en las válvulas de desahogo de seguridad (Fig. 10a). El disparo de la válvula es más rápido y la purga dura más tiempo cuando el anillo está en su posición alta, que cuando este está en su posición baja. En el servicio con líquidos el anillo de purga siempre está en la posición más baja, ya que este no debe entorpecer el funcionamiento de la válvula (Fig. 10a).

## **6. DISCOS DE RUPTURA**

Sabemos que las válvulas de seguridad son los dispositivos de alivio de presión mas utilizados, pero hay ocasiones en que no pueden proteger al 100%. En casos donde se requiere proteger recipientes con presiones de diseño muy altas que exceden mucho la capacidad de las válvulas de desahogo, se debe considerar la instalación de los discos de rupturas (Fig. 13). Un disco de ruptura consiste en un sujetador y un disco metálico destinado a romperse o fracturarse a la presión de alivio o desahogo. Estos son dispositivos sin cierre repetido del mecanismo, accionados por diferencia de presión entre el interior y exterior, y diseñados para funcionar por estallido o venteo de un disco.

Las principales ventajas que tienen estos dispositivos, es que aíslan completamente el fluido del lado externo de descarga y son más económicos en su compra y mantenimiento. Existen dos tipos de discos: el preabombado, que es el convencional y el de combadura inversa (Fig. 13a).

Una desventaja del tipo preabombado o preabolsado es que debido a su susceptibilidad a la fatiga por esfuerzo requiere graduar la presión alrededor de 1.5 veces mayor que la de operación. Esto significa que el recipiente protegido se debe diseñar para una presión más alta. Además, la presión de disparo del tipo preabombado puede ser errática.

En el tipo de combadura inversa, la presión se puede graduar a no más de 1.1 veces la presión de funcionamiento. Se utilizan para proteger la entrada a las válvulas de desahogo en servicio con líquidos sucios o con polímeros.

La mayor desventaja de los discos de ruptura es que no pueden volver a asentar o utilizar. La ruptura hace que se pierda la presión en el sistema protegido y hay que parar la unidad de proceso para reemplazar el disco. Por tanto, no resultan seguros para fluidos tóxicos y se

debe pensar en utilizar válvulas de desahogo en serie después de un disco de ruptura para esos fluidos. Otros inconvenientes son:

- Requieren normalmente un margen mayor entre la presión de funcionamiento y la presión de diseño del recipiente a proteger.
- La existencia de pulsaciones de presión puede ocasionar fallos prematuros del disco, si la presión de funcionamiento está demasiado cerca de la presión de estallido del disco.
- Al ser dispositivos de presión diferencial, son sensibles a los cambios de la contrapresión (presión estática existente a la salida de una válvula de seguridad o en la cara exterior del disco de ruptura).

Hay ciertas condiciones en las que se debe instalar discos de ruptura:

- Un aumento rápido de la presión
- La existencia de fluidos tóxicos cuyo escape por una válvula de seguridad no está permitido.
- Fluidos corrosivos que pueden causar un deterioro progresivo de las válvulas de seguridad.
- Fluidos que pueden depositar sólidos o gomas que interfieran el buen funcionamiento de las válvulas de seguridad.

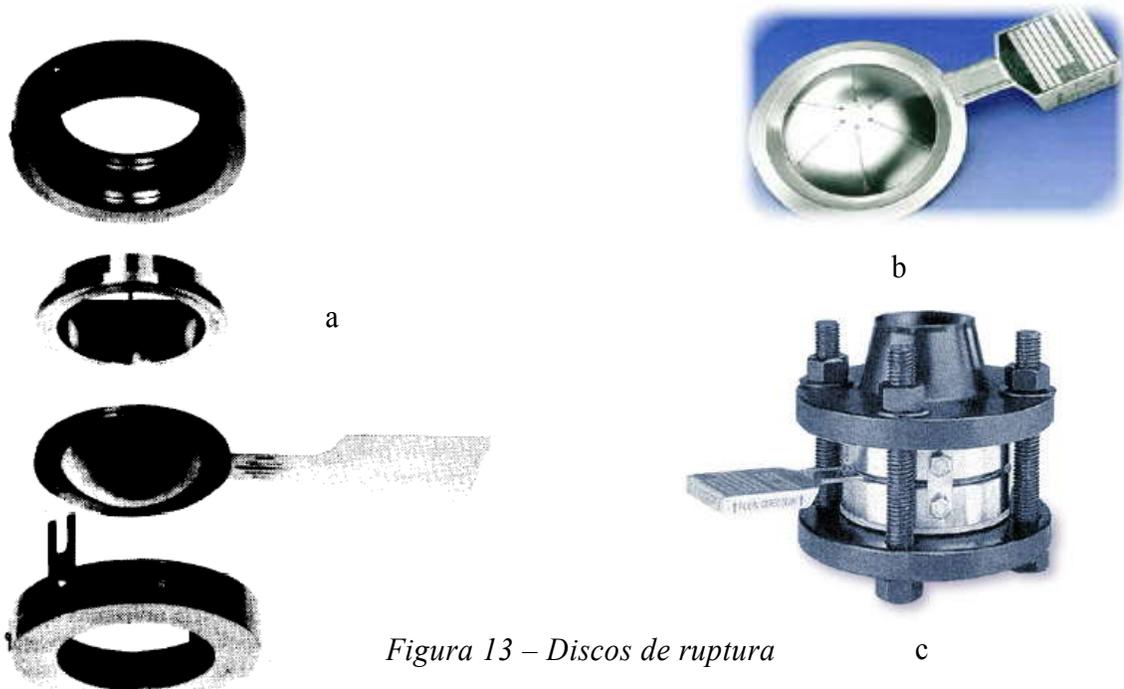


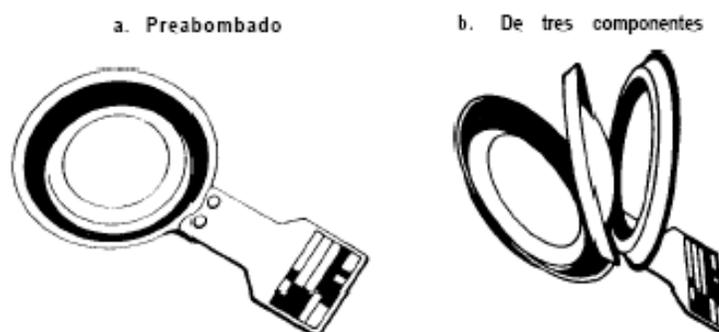
Figura 13 – Discos de ruptura

Los discos de ruptura se fabrican con diversos metales y están disponibles con un revestimiento en uno o ambos lados para darles resistencia a la corrosión.

Los tipos preabombado (Fig. 14a) pueden ser de tres componentes (Fig. 14b), y consiste en un soporte al vacío, disco de ruptura y arillo de retén. La presión de ruptura varía en forma directa con el espesor y en relación inversa con el diámetro.

Los materiales de construcción más comunes son: aluminio, Monel, Inconel y acero inoxidable austenítico. Pero también se hacen con cobre, plata, oro, platino, tántalo y titanio, y se requieren hojas, tiras y láminas metálicas de recocido blando. La gran variedad de requisitos hace que los fabricantes los hagan con espesores de metal entre alrededor de 0.002 a 0.060 in. Normalmente, están disponibles en tamaños de 1/2 a 24 in de diámetro. Algunos fabricantes los tienen en tamaño de 1/8 a 44 in.

Según el metal con que esté fabricado, Un disco de 1/2 in puede tener una presión mínima de ruptura entre 65 y 850 psig. Un disco de 24 in se puede romper a apenas entre 3 y 35 psi. En los tamaños pequeños se pueden obtener presiones de ruptura de 6 000 psig, pero es raro que los discos grandes tengan presiones de ruptura mayores de 700 psig<sup>6</sup>.



*Figura 14. Los discos de ruptura protegen los sistemas  
Del proceso*

---

<sup>6</sup> Válvulas Selección, uso y mantenimiento, Richard W. Greene y Cuerpo de redactores de Chemical Engineering Magazine. McGRAW-HILL.

## ***7. PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO EN LA REFINERIA DE ECOPETROL S.A.***

En estos tipos de sistemas de seguridad el mantenimiento es uno de los factores más importante, ya que la seguridad en estos sistemas redunda en una operación confiable del equipo o aparato 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 que actúan en una situación de emergencia para evitar que una sobrepresión origine una catástrofe. Debido a esto, los sistemas de alivio de presión son frecuentemente señalados como los silenciosos centinelas de la industria.

Uno de los aspectos más importante a tener en cuenta en este tema, es que la empresa ECOPETROL S.A., aplica un mantenimiento preventivo a las válvulas de seguridad y de alivio. Para una buena aplicación de mantenimiento los ingenieros y técnicos deben y/o tienen siempre en cuenta lo siguiente:

Se aseguran que la Válvula de Seguridad / Alivio que se llevan a mantenimiento corresponda a la programada. Para evitar confusiones estos deben tener en cuenta la siguiente información:

- a- Toda válvula tiene su placa de identificación, en donde tiene impreso el TAG asignado, el cual demuestra si esta es la correcta para la aplicación del mantenimiento.

- b- En caso de no tener placa de identificación, se consulta en el Sistema de Administración de Mantenimiento (Ellipse)<sup>7</sup>, o con el operador de este programa, ya que este último contiene la información necesaria de todos los equipos instalados en la planta incluyendo los dispositivos de alivio de presión.
- c- Verifican la última fecha de intervención (mantenimiento) en la placa, en caso de tener una fecha de intervención reciente, consultar con el operador del programa sobre el caso<sup>8</sup>, para que este nos facilite toda la información y tomar medidas en caso de ser así.
- d- Con excepción de las válvulas que forman parte de un equipo crítico, estas deben llegar al Taller de acuerdo a la planeación establecida. Si hay alguna válvula que no cumple con este requisito, el supervisor de mantenimiento de la planta debe informar lo acontecido, a su vez debe dejar asentado en la OT<sup>9</sup> la situación correspondiente.

Como segundo paso las Válvulas de Seguridad / Alivio una vez lleguen a taller deben permanecer en el área de “Entrada de Válvulas” hasta que empiece la prueba preliminar de disparo para determinar el diagnóstico de esta. Una vez realizada esta prueba se determina si la válvula requiere reparación, ajuste o en el mejor de los casos este en perfecto estado.

### ***7.1. PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO EN TALLER***

El técnico realiza una prueba preliminar de disparo en un banco de prueba a todos los dispositivos de Alivio de presión antes de su reparación general. Esto es con el fin de encontrar los posibles síntomas que presenta el dispositivo.

---

<sup>7</sup> Sistema de Administración de Mantenimiento (Ellipse): es una base de datos virtual que utiliza la Refinería ECOPETROL la cual contiene todos los datos técnicos e información de los mantenimientos aplicados de todos los equipos instalados en la planta.

<sup>8</sup> En ocasiones los dispositivos de alivio de presión salen a mantenimiento correctivo por fallas, antes de la programación del mantenimiento preventivo.

<sup>9</sup> OT: Orden de Trabajo utilizada en la refinería de ECOPETROL.

Los bancos de pruebas (Fig. 15) para válvulas de alivio, normalmente consisten en:

1. Un suministro de presión por medio de un compresor con un tanque de almacenamiento (1).
2. Una línea de alimentación con una válvula de acelerador o control (2). Es una tubería por donde fluye el aire.
3. Un receptor con las siguientes características (3):
  - i. Salida para conectar la válvula a ser probada (4).
  - ii. Manómetro con una válvula de corte. (Este se encuentra en un panel de control).
  - iii. Tubo de desagüe con valvula de corte.
  - iv. Un volumen en el receptor que sea adecuado para que la válvula sometida a prueba logre funcionar apropiadamente.

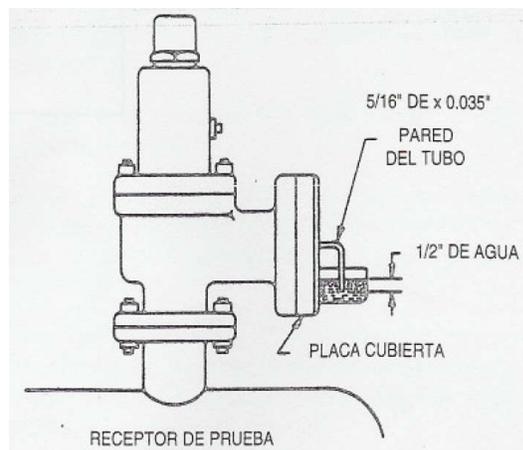


*Figura 15. Banco de prueba de ECOPETROL.*

El medio de prueba es importante al momento de obtener resultados. Las válvulas de vapor se prueban en vapor saturado, las válvulas de gas o aire a temperatura ambiente y las válvulas de líquido en agua a temperatura ambiente<sup>10</sup>.

Antes de instalar la válvula en el banco de prueba, se quita toda la suciedad, sedimentos u oxido de la tobera del tanque de prueba y la lumbrera de entrada de la válvula. Se aseguran que el manómetro sea de precisión y que este haya sido calibrado recientemente.

La válvula debe ser instalada verticalmente en el banco de prueba como se muestra en la Figura 16. Para efectos de cálculo de la velocidad de fuga (en burbujas por minuto), las válvulas se deben verificar de acuerdo a los requisitos del API 527 y ANSI B147.1.



*Figura 16. Prueba preliminar de disparo instalación de la válvula en forma vertical*

Para las válvulas de alivio de seguridad que tiene asientos metal con metal, la velocidad de fuga se determina con la presión en la entrada de la válvula, la que debe mantenerse a 90% de la presión prefijada inmediatamente después de dispararse. Para válvulas ajustadas a 50 Psi o más baja, la presión debe mantenerse a 5 Psi debajo del valor prefijado. Se debe

<sup>10</sup> Según el código ASME B1147-1 y API 5-27.

aplicar la presión de prueba por 1 minuto como mínimo para válvulas en tamaños de entrada hasta 2 pulgadas; 2 minutos para tamaños de 2-1/2, 3 y 4 pulgadas, y 5 minutos para tamaños de 6 y 8 pulgadas. Las designadas para el servicio gaseoso, la velocidad de fuga (en burbujas por minuto) no debe exceder los valores indicados en la tabla II.

Tipo de válvula	Tamaño de orificio de fabricación	Máximo (burbujas por minuto)	Velocidad aprox. de fuga (pies cúbicas estándar por 24 horas) máxima
Convencional	F y más pequeño	40	0.60
	G y más grande	20	0.30
Equilibrado Fuelle	F y más pequeño	50	0.60
	G y más grande	30	0.45

*Tabla II. Velocidad de Fuga para válvulas con asiento metal con metal*

Las válvulas de sello de asiento de anillo tórico no deben tener ninguna fuga a las presiones de prueba o debajo de ellas, mostradas en la tabla III.

Presión prefijada (psig)	Presión de prueba (% de presión prefijada)
5 a 30	90
31 a 50	92
51 a 100	94
100 y más	95

*Tabla III. Presión de Prueba para válvulas de asiento de anillo*

Si el dispositivo de alivio de presión no dispara a la presión fría establecida, o dispara antes de tiempo, se considera que la válvula esta descalibrada. Pero en el caso que ocurra lo

contrario simplemente se vuelve a poner en operación. Estas decisiones se toma por políticas de la Refinería de ECOPETROL, ya que ellos consideran que si el dispositivo esta funcionando bien, este no se le aplica el mantenimiento (si esta funcionando bien es mejor no tocarlo), siempre y cuando este no pertenezca a un equipo con criticidad bastante alta. Estas políticas son soportadas por los estudios realizados por los ingenieros y técnicos encargado del Dpto. de mantenimiento de la refinería, basándose en su experiencia, recomendaciones del fabricante, criticidad del equipo que se esta protegiendo y las conclusiones después de cada prueba y mantenimiento de estos dispositivos de alivio.

En las pruebas de las válvulas, siempre se tiene presentes las normas de seguridad, como es el uso de tapones auditivos, gafas y no ubicarse frente a la salida de la válvula. En la (figura 17) se muestra el formato de la prueba preliminar, que utiliza la refinería. Este formato contiene:

- a) Nombre de la empresa ya que la Refinería de ECOPETROL presta el servicio de calibración de estos dispositivos de alivio de presión a otras empresas del sector de mamonal.
- b) Numero de la orden de trabajo para efectos de seguridad y control de la operación.
- c) TAG del dispositivo, para saber todas las características técnicas y poder almacenar en la hoja de vida toda la información de la operación de mantenimiento y pruebas que se le hallan hecho.
- d) Nombre del operador encargado de la prueba.
- e) Fecha y hora de la prueba.
- f) Datos de la válvula en el cual contiene:
  - i. La presión de apertura: nos indica a que presión comienza abrir o aliviar (desahogar) el dispositivo.
  - ii. Diámetro del asiento. Ya que el programa del banco de prueba tiene una base de datos de casi todas las válvulas y necesita este dato para tener resultados con exactitud. Sirve también para efecto de lapeado del asiento.

- iii. Diámetro de conexión de entrada: es diámetro que tiene la boquilla de entrada del cuerpo del dispositivo por donde pasa el fluido. Este dato es tomado por el técnico en cargo de la prueba.
- iv. Diámetro de conexión de salida: es diámetro que tiene la boquilla de salida del cuerpo del dispositivo por donde pasa el fluido. Este dato es tomado por el técnico en cargo de la prueba.
- v. Tipo de conexión de entrada. Ejemplo roscado.
- vi. Tipo de conexión de salida.
- vii. Aplicación, de acuerdo con el código que este manejando el equipo que se protege. Esto es para cálculos que realiza el programa del banco de prueba y cumplir con los códigos que lo rigen.
- viii. Tipo de válvula ya sea convencional o balanceada, dependiendo cual se este probando.
- ix. Sellado, el cual puede ser metal/ metal o elastomerito dependiendo del tipo se sellamiento entre el disco y la boquilla (tobera).
- x. Grafica de respuesta, de la cual se sacan las conclusiones de la prueba basados en el tiempo de duración de la prueba (min.), la presión (Psi) y el alza del disco (mils. Pulg.).

g) Disparo con aire en el cual contiene:

- i. Tipo de prueba ya sea con agua o con aire dependiendo del tipo de fluido que maneja el dispositivo de alivio y las normativas que los rigen.
- ii. Presión de disparo sin contrapresión (Psi.)<sup>11</sup>.
- iii. Presión de escape (90% presión de disparo). Es la presión a la cual se está liberando el fluido (Psi.).
- iv. Presión mínima de reasentamiento (Psi.). Es la presión a la cual la válvula comienza a cerrarse.
- v. Escape máximo (Burbujas por minuto). Es la cantidad de fluido que se puede dejar escapar al momento de entrar en operación la válvula.

---

<sup>11</sup> Contrapresión es la presión en el lado de descarga de una válvula de alivio de seguridad.

vi. Alza requerida (milésimas de pulg.). Es la distancia que se mínima requiere entre el disco y la boquilla (tobera) para que la válvula alivie la presión.

h) Resultados de la prueba en el cual contiene un resumen de toda la prueba y un aval si el dispositivo de alivio pasó (luz verde) o no (luz roja) la prueba.

En el caso de la figura 11, la válvula paso la prueba (Luz Verde) y no hay necesidad de hacerle calibración o algún tipo de mantenimiento. El Técnico registra los resultados de la prueba preliminar, y los comentarios sobre la condición de la válvula en el texto extendido de la OT de la Válvula en el Sistema de Administración de Mantenimiento (Ellipse) antes de finalizar el día de trabajo. Si ocurre el caso contrario (Luz Roja), se procede al desarme, inspección, limpieza y mantenimiento de la válvula.

### Sistema de Adquisición y Registro de Datos

EMPRESA: \_\_\_\_\_ OT: \_\_\_\_\_

TAG N°: \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL OPERADOR: \_\_\_\_\_ FECHA: Martes, 05 de Junio de 2007 HORA: 01:48 p.m.

DATOS DE LA VALVULA	
Presión de Apertura	100 PSI
Contrapresión Máxima	PSI
Diametro de Asiento	.499 Pulg.
Diametro conexión de entrada	3/4" Pulg.
Diametro conexión de salida	1" Pulg.
Tipo de conexión entrada	ROSCADO
Tipo de conexión de salida	ROSCADO
APLICACIÓN: ASME I <input type="checkbox"/> ASME VIII <input checked="" type="checkbox"/> Sobrepresión Max: 3%      Sobrepresión Max: 10%	
TIPO VÁLVULA:	CONVENCIONAL <input checked="" type="checkbox"/> BALANCEADA <input type="checkbox"/>
SELLADO:	METAL / METAL <input checked="" type="checkbox"/> ELASTOMERICO <input type="checkbox"/>
<b>GRAFICA DE RESPUESTA</b> ALZA <input checked="" type="checkbox"/> PRESION <input type="checkbox"/>	

DISPARO CON AIRE	
REQUERIMIENTOS PARA PASAR LA PRUEBA	
TIPO DE PRUEBA:	DISPARO CON AIRE <input checked="" type="checkbox"/> ESCAPE CON AGUA <input type="checkbox"/>
PRESIÓN DE DISPARO SIN CONTRAPRESIÓN	100.00 PSI
PRESIÓN DE ESCAPE (90% PRESIÓN DISPARO)	90.00 PSI
PRESIÓN MÍNIMA DE REASENTAMIENTO	100.50 PSI
ESCAPE MÁXIMO	40.00 Burb./min
ALZA REQUERIDA	124.7 mPulg.
RESULTADOS DE LA PRUEBA	
Escape al 90% P. de Disparo	20 Burb./min
Presión Máxima	108.9 PSI
Presión de Escape	90 PSI
Sobre presión máxima	8.94 %
Alza Máxima	489 mPulg.
Presion de Disparo	108.9 PSI
Presion de Reasentamiento	98.9 PSI
Presion de disparo	8.94 %
PASA PRUEBA:	<input checked="" type="checkbox"/> SI
Observaciones: FUE NECESARIO DESARMAR YA QUE NO PASÓ LA PRELIMINAR. SE LAPEARON AREAS DE SELLADO, SE LIMPIARON PARTES METALMECANICAS Y POR ULTIMO SE ARMÓ.	

Figura 17. Formato de la Prueba preliminar de disparo

## 7.2. *DESARME-LIMPIEZA-INSPECCIÓN (MANTENIMIENTO)*

Siempre y cuando sea necesario o practico, el Técnico desarmará las Válvulas de Seguridad / Alivio completamente. Estas pueden desarmarse fácilmente para una inspección, reacondicionamientos de los asientos o componentes internos. (Ver Figuras 18 y 19).



*Figura 18. Válvula de seguridad.  
Calibrador de presión interno.*



*Figura 19. Válvula de seguridad de  
sello de asiento metal con metal.*

Después de desarmar la válvula, el técnico hace una inspección minuciosa de las superficies del asiento para verificar su estado y tomar decisiones. (Ver Figuras 20a, 20b y 21).



*Figura 20. Tobera de una válvula de seguridad orificio de  
escape (sello de asiento metal con metal).*



*Figura 21. Disco de una válvula de seguridad de sello de asiento metal con metal.*

En la mayoría de los casos, un simple lapéado de los asientos es lo único que se necesita para dejar la válvula en óptimas condiciones de trabajo. Pero si la inspección revela que las superficies de los asientos de la válvula esta muy dañada, será necesario maquinarse en un torno antes de lapear<sup>12</sup>. Para el inicio del proceso de lapeado se recomienda lo siguiente:

- Placa o plataforma para lapear
- Lubricante resistente a altas temperaturas
- Dos aros para lapear por tamaño y tipo de válvula. (Ver Figuras 22, 25a y 25b).
- Compuesto o pasta abrasiva. (Ver Figura 23).

---

<sup>12</sup> Lo que corresponde a las toberas o boquillas de la válvula de asiento de anillo tórico solamente se reacondicionan por medio de maquinado y no por lapéado.

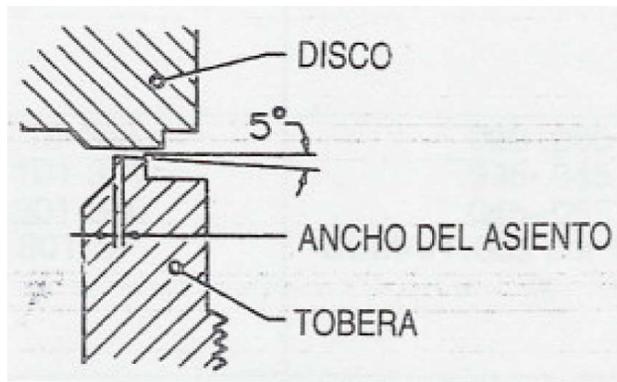


*Figura 22. Lapeador de hierro fundido.*



*Figura 23. Pasta abrasiva*

Siempre debe saberse que las superficies de asiento son planas en las válvulas de alivio de seguridad con asiento metálico. El asiento de las toberas tiene un ángulo de  $5^\circ$  en la parte exterior del asiento plano. El asiento del disco es más ancho que el de la tobera; por tanto, el patrón del ancho del asiento es el asiento de la tobera (ver Figura 24).



*Figura 24. Asientos de la tobera de una válvula de alivio con asiento metálico.*

Para el reacondicionamiento de las superficies de asiento de la tobera y del disco se hace mediante el lapeado con un lapeador de hierro fundido (ver Figura 25a y 25b), cubierto de pasta abrasiva (ver Figura 26 y 27).



a

*Figura 25. Lapeador de hierro fundido.*

b



*Figura 26. Disco de sello de asiento metal con metal.*

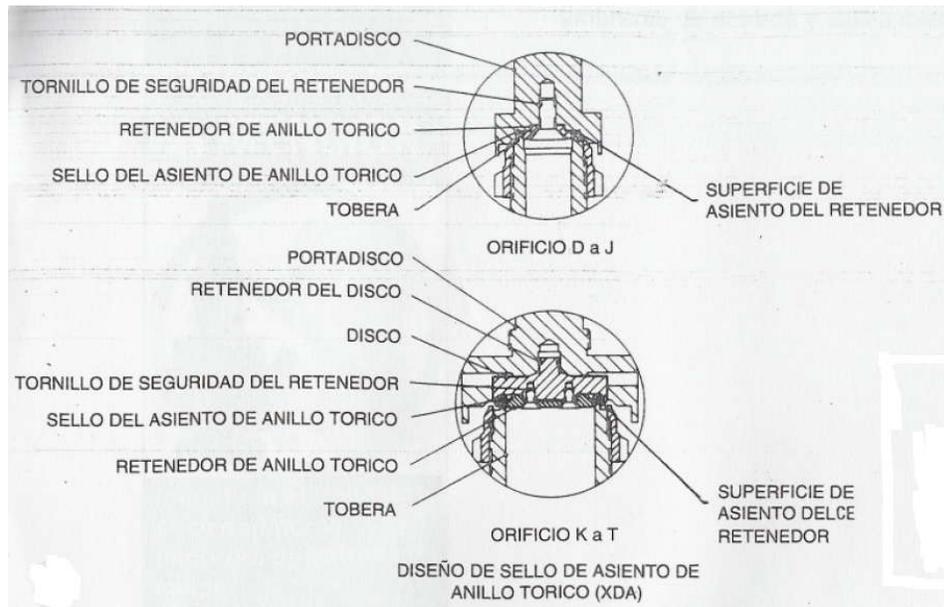


*Figura 27. Sello de asiento metal con metal.*

Antes de lapear los asientos del disco y tobera, el resalto o los bordes de los asientos se limpian cuidadosamente utilizando un papel de lija de grano fino. El propósito de esto es eliminar cualquier pequeña partícula de metal adherida a las superficies.

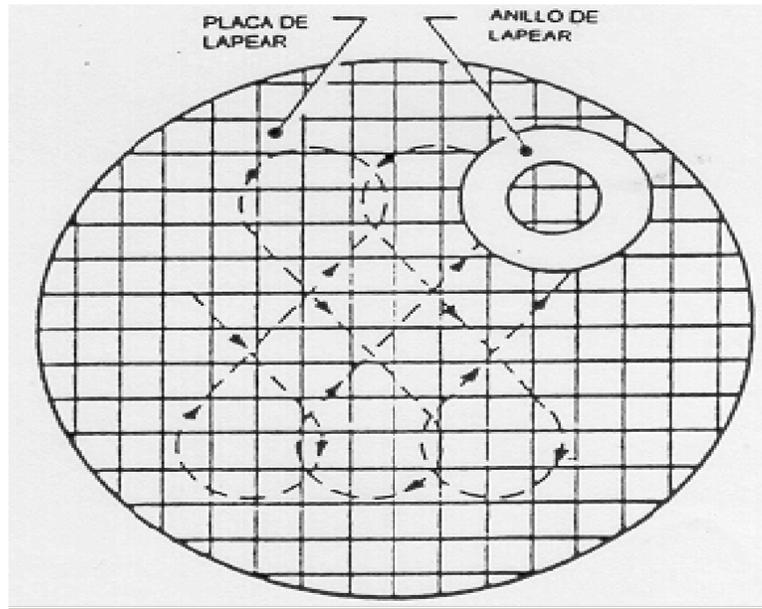
Para lapear el asiento del disco se hace con un anillo para lapear o una placa de lapeado. Este debe hacerse en forma de ocho, aplicando una presión uniforme y rotando lentamente el lapeador o disco (ver Figura 29).

Antes del armado, el técnico debe rectificar las superficies de contacto de la tobera y retenedor del anillo tórico para proporcionar el apriete de metal con metal del asiento en caso de fallar el anillo tórico (ver Figura 28).



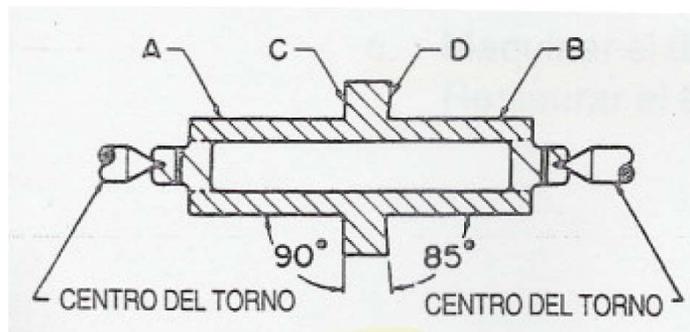
*Figura 28. Diseño de sello de asiento de anillo tórico.*

Los anillos para lapear se reacondicionan lapeándolos sobre una placa de lapear plana. La operación de lapeado se realiza con un movimiento en ocho como lo muestra la figura 29, mientras se mantiene el aro de lapear libremente en los dedos y permitiendo que repose en la superficie del asiento. Hay que controlar el movimiento del aro para evitar que los bordes interior y exterior del mismo crucen el asiento. Si los bordes tocan la superficie del asiento, éste puede rayarse o redondearse. Se tiene que tener cuidado de no inclinar el aro, ya que ello causaría desigualdades en la superficie del asiento. Para asegurar un mejor resultado cuando se lapean los asientos, los anillos para lapear deben revisarse después de cada uso e inspeccionarse con un verificador óptico de planeidad.



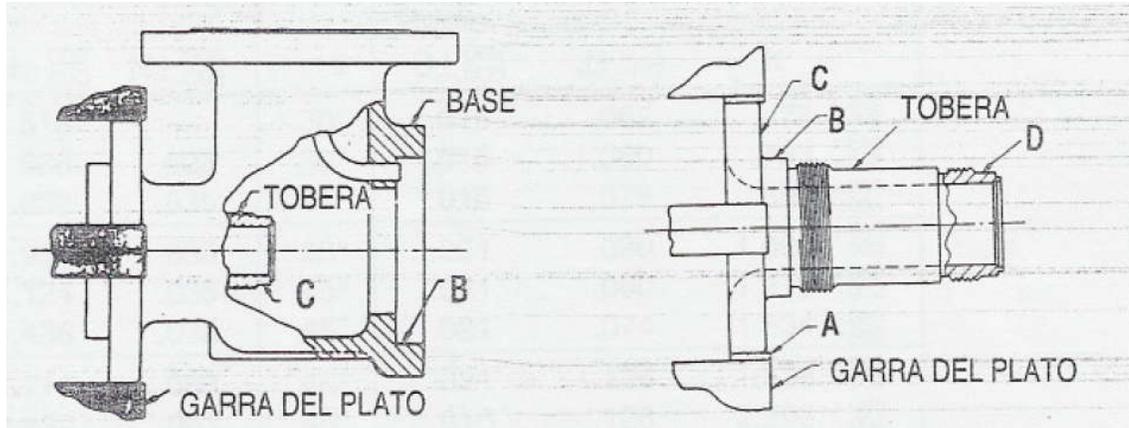
*Figura 29. Operación de lapeado en forma de ocho.*

Los lapeadores de toberas deben remaquinarse para restaurar las superficies de lapeado. Poner el lapeador en un torno entre los centros (ver figura 30). Las superficies marcadas con A y B deben correr concéntricas. Una superficie de lapeado es de  $90^\circ$  y la otra de  $85^\circ$ .



*Figura 30. Operación de remaquinado de lapeadores en el torno.*

Siempre que sea posible, el asiento de la tobera debe maquinarse en un torno, con la tobera montada en la base (ver Figura 31 y 32). En este caso se debe nivelar la pieza en el torno de tal forma que la parte superior de la tobera en C y la superficie de la base B giren concéntrica dentro de 0.001". Ver Figura 31a. La garra del plato del torno nos sirve para fijar la pieza en la maquina y que esta no este desnivelada.



a

b

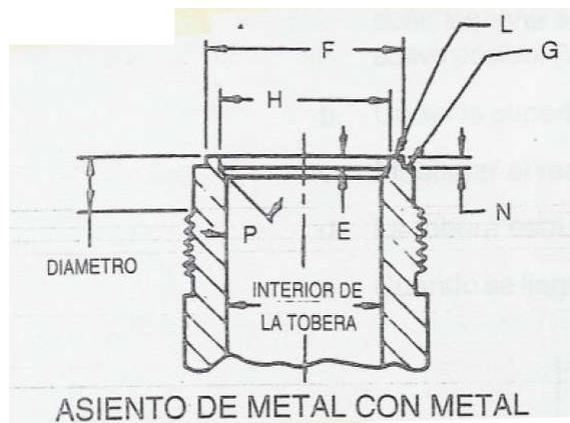
*Figura 31. Operación de maquinado de asiento de la tobera.*



*Figura 32. Asiento de la tobera en una válvula real.*

Si esto no es posible entonces se debe sacar la tobera de la base. En este caso se debe nivelar la tobera en el torno para que las superficies B, C y D giren concéntricas dentro de 0.001". Ver Figura 31b. La garra del plato del torno nos sirve para fijar la pieza en la maquina y que esta no este desnivelada.

En el proceso de maquinado de los asientos metal con metal el técnico debe hacer cortes suaves en la superficie L a un ángulo de 5°, hasta eliminar las areas dañadas. (Ver figura 33). Este torneado no se debe terminar hasta que el técnico no halla alcanzado un acabado lo más suave posible. En la tabla IV se muestran los diámetros requeridos para los tipos de orificios.



*Figura 33. Maquinado de los asientos metal con metal.*

UNIDADES INGLESAS, PULGADAS										
Tobera		Metal con metal					Sello de anillo tórico			
Orificio	D min.	E $\pm_{.000}^{.005}$	F $\pm_{.002}^{.000}$	H $\pm_{.000}^{.002}$	N $\pm_{.000}^{.005}$	P $\pm 1/2^\circ$	Radio B $\pm_{.000}^{.002}$	J $\pm_{.005}$	K	
D-1	13/32	.015	—	.518	—	30°	.015	.062	.573	$^{+.000}$ $_{-.002}$
E-1	15/32	.020	.788	.686	.025	30°	.015	.060	.733	$^{+.000}$ $_{-.002}$
D-2,E-2,F	5/16	.030	.955	.832	.035	30°	.015	.079	.868	$^{+.000}$ $_{-.003}$
G	5/16	.035	1.094	.954	.035	30°	.021	.090	1.060	$^{+.000}$ $_{-.003}$
H	1/4	.035	1.225	1.124	.035	45°	.021	.060	1.216	$^{+.000}$ $_{-.003}$
J	3/8	.035	1.546	1.436	.035	45°	.021	.074	1.534	$^{+.000}$ $_{-.003}$
K	7/16	.063	1.836	1.711	.063	45°	.021	.126	1.838	$^{+.000}$ $_{-.004}$
L	7/16	.063	2.257	2.132	.063	45°	.016	.126	2.208	$^{+.000}$ $_{-.004}$
M	7/16	.063	2.525	2.400	.063	45°	.021	.126	2.536	$^{+.000}$ $_{-.004}$
N	1/2	.063	2.777	2.627	.063	45°	.021	.101	2.708	$^{+.000}$ $_{-.004}$
P	5/8	.093	3.332	3.182	.093	45°	.021	.150	3.334	$^{+.000}$ $_{-.004}$
Q	7/8	.093	4.335	4.185	.093	45°	.021	.188	4.338	$^{+.000}$ $_{-.006}$
R	1	.093	5.110	4.960	.093	45°	.021	.215	5.095	$^{+.000}$ $_{-.006}$
T	3/4	—	6.234	6.040	.093	—	.021	.142	6.237	$^{+.000}$ $_{-.007}$

UNIDADES METRICAS, mm										
Tobera		Metal con metal					Sello de anillo tórico			
Orificio	D min.	E $\pm_{.0}^{.13}$	F $\pm_{.05}^{.0}$	H $\pm_{.0}^{.05}$	N $\pm_{.0}^{.13}$	P $\pm 1/2^\circ$	Radio B $\pm_{.0}^{.05}$	J $\pm_{.13}$	K	
D-1	10.3	.38	—	13.16	—	30°	.38	1.57	14.55	$^{+.00}$ $_{-.05}$
E-1	11.9	.51	20.01	17.43	.64	30°	.38	1.52	18.62	$^{+.00}$ $_{-.05}$
D-2,E-2,F	7.9	.76	24.26	21.13	.89	30°	.38	2.01	22.05	$^{+.00}$ $_{-.08}$
G	7.9	.89	27.79	24.24	.89	30°	.53	2.29	26.92	$^{+.00}$ $_{-.08}$
H	6.3	.89	31.12	28.55	.89	45°	.53	1.52	30.89	$^{+.00}$ $_{-.08}$
J	9.5	.89	39.27	36.47	.89	45°	.53	1.88	38.96	$^{+.00}$ $_{-.08}$
K	11.1	1.60	46.63	43.46	1.60	45°	.53	3.20	46.69	$^{+.00}$ $_{-.10}$
L	11.1	1.60	57.33	54.15	1.60	45°	.41	3.20	56.08	$^{+.00}$ $_{-.10}$
M	11.1	1.60	64.14	60.96	1.60	45°	.53	3.20	64.41	$^{+.00}$ $_{-.10}$
N	12.7	1.60	70.54	66.73	1.60	45°	.53	2.57	68.78	$^{+.00}$ $_{-.10}$
P	15.9	2.36	84.63	80.82	2.36	45°	.53	3.81	84.68	$^{+.00}$ $_{-.10}$
Q	22.2	2.36	110.11	106.30	2.36	45°	.53	4.78	110.19	$^{+.00}$ $_{-.15}$
R	25.4	2.36	129.79	125.98	2.36	45°	.53	5.46	129.41	$^{+.00}$ $_{-.15}$
T	19.0	—	158.34	153.42	2.36	—	.53	3.61	158.42	$^{+.00}$ $_{-.18}$

Tabla IV. Diámetros requeridos para los tipos de orificio de asientos de metal con metal y sello de anillo torico.

Las letras D, E, F, G, H, etc, estas designadas por la ASME B16.5 para identificar los tipos de orificio de las válvulas. En la tabla V encontramos las presiones para una válvula de vapor y hierro fundido.

PRESIÓN RADUADA PSIG	Designación del orificio																Designación de orificio	Superficie de orificio, in <sup>2</sup>
	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	T				
10	141	252	395	646	1010	1653	2362	3666	4626	5577	8197	14190	20560	33410				
20	202	360	564	922	1442	2361	3373	5235	6605	7964	11710	20270	29360	47710				
30	262	468	733	1199	1874	3068	4384	6804	8586	10350	15210	26340	38160	61710				
40	323	575	902	1475	2306	3776	5396	8373	10570	12740	18720	32420	45960	75710				
50	383	688	1070	1752	2738	4484	6407	9942	12550	15130	22230	39360	55960	91710				
60	444	791	1239	2028	3170	5192	7418	11510	14530	17510	25710	44160	62760	101710				
70	504	899	1408	2305	3602	5899	8429	13080	16510	19900	29210	50160	70760	112710				
80	565	1007	1577	2581	4034	6607	9440	14650	18490	22290	33010	57360	80760	126710				
90	625	1114	1746	2858	4466	7315	10450	16220	20470	24670	37010	64860	90760	141710				
100	686	1222	1915	3134	4898	8023	11460	17790	22450	27060	40710	71760	99760	154710				
110	746	1330	2084	3411	5330	8730	12470	19360	24430	29510	44110	77760	107760	166710				
120	807	1438	2253	3687	5762	9438	13490	20920	26410	31910	47410	82760	114760	178710				
130	867	1546	2421	3964	6194	10150	14500	22490	28390	34310	50410	87760	121760	190710				
140	928	1653	2590	4240	6626	10850	15510	24060	30370	36710	53410	92760	128760	202710				
150	988	1761	2759	4517	7058	11560	16520	25630	32350	39110	56410	97760	135760	214710				
160	1049	1869	2928	4793	7490	12270	17530	27200	34330	41510	59410	102760	142760	226710				
170	1109	1977	3097	5070	7922	12980	18540	28770	36310	43910	62410	107760	149760	238710				
180	1170	2085	3265	5346	8353	13690	19550	30340	38290	46310	65410	112760	156760	250710				
190	1230	2192	3434	5623	8785	14390	20560	31910	40270	48710	68410	117760	163760	262710				
200	1291	2300	3603	5899	9217	15100												
210	1351	2408	3772	6176	9649													
220	1412	2516	3945	6453	10081													

\* Capacidad de la boquilla en lb/h para 10% de sobrepresión para vapor de agua de acuerdo con el Código ASME para recipientes de presión sin fuego

Tabla V. Capacidades representativas de una válvula de desahogo. Código ASME B16-5

En el proceso de maquinado de los asientos de sello de anillo tórico el técnico debe de tener en cuenta hacer cortes suaves en la superficie A (45°), hasta eliminar las áreas dañadas. (Ver figura 34). Este torneado no se debe terminar hasta que el técnico no halla alcanzado un acabado lo más suave posible. Luego se debe de inspeccionar el diámetro interior de la tobera.

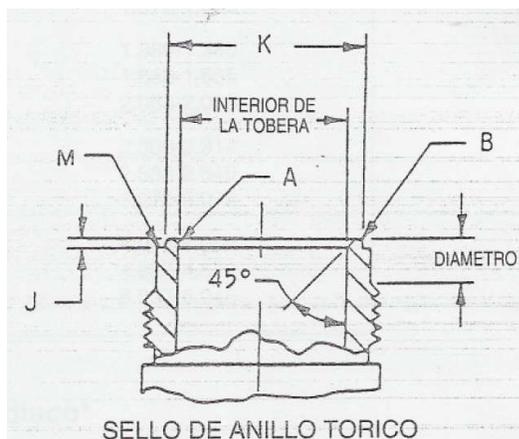


Figura 34. Maquinado de los asientos de sello de anillo tórico.

Cumplido estos procesos, los asientos y el diámetro interior de la tobera esta listas para el proceso de lapéado como se explico anteriormente.

Una vez realizado el lapeado se inspeccionará cualquier rastro de defectos como áreas grises o ralladuras, ya que requerirá la repetición de un lapeado completo hasta alcanzar el acabado deseado.

Aunque los puntos más delicados del lapeado, pulido o esmerilado pueden ser considerados como un arte de la mecánica, una persona suficientemente especializada puede lograr una buena reparación de los asientos con alguna práctica. Es preciso decir que no existe un procedimiento universal exacto para todos los casos posibles, dado que diferentes personas pueden conseguir los mismos resultados utilizando sus propias técnicas.

Para los demás componentes de las válvulas, se limpian utilizando los siguientes métodos:

- Agua caliente
- Lavado con agua a presión (Aquablast)
- Limpiador Solvente
- Lavado con aire seco a presión.

Otros métodos como el Sand-blasting, se utilizarán solo después de la aprobación del Líder de Sección y/o Inspector.

Al realizar las labores de limpieza se deben utilizar los implementos de seguridad necesarios: guantes adecuados, gafas, delantal, etc.

Los componentes de la válvula son nuevamente inspeccionados por el técnico, esto con el fin que no se pase por alto cualquier error en el proceso de mantenimiento. La naturaleza y origen de cualquier daño o defecto deberá registrarse en el Sistema de Administración de Mantenimiento (ELLIPSE).

Los componentes de las válvulas, una vez retirados se mantienen en bandejas e identificados con etiquetas antes de su armado.

### **7.3. REPUESTOS Y/O VÁLVULAS DE REPLAZO**

Cuando las Válvulas de Seguridad o de Alivio requieren que algún o algunos elementos internos sean reemplazados por nuevos componentes o si requiere un reemplazo completo, adicional a los empaques, se recomienda al máximo el uso de repuestos originales.

La fabricación de repuestos en taller solo se hacen en casos extremos, y limitado (guías, vástago, tornillo de ajuste y fijación) y del material original. Cuando se esté comprando los componentes o repuestos al Fabricante, siempre se tiene en cuenta mencionar:

- Tipo y tamaño de la válvula.
- Número de Serie o Shop number de Etiqueta.
- Numero de parte.

Las válvulas de alivio que tengan que esperar por repuestos, se colocan en un área específica del taller de Válvulas, marcadas con una copia de la solicitud de repuestos a bodega.

Cuando se considere que se requerirá un nuevo componente(s) en la próxima inspección, el Técnico registra los detalles, incluyendo la razón de la recomendación, en la OT y en el Sistema de Administración de Mantenimiento (ELLIPSE).

Los operarios y el supervisor de mantenimiento tienen la responsabilidad de revisar estas recomendaciones y asegurarse que en caso de considerarse necesario, los componentes sean pedidos. Los repuestos comprados o guardados en la unidad de almacenamiento, son

completamente identificados por el Técnico y/o Coordinador que esté registrando el proceso.

#### **7.4. VERIFICACIONES ANTES DE ARMAR**

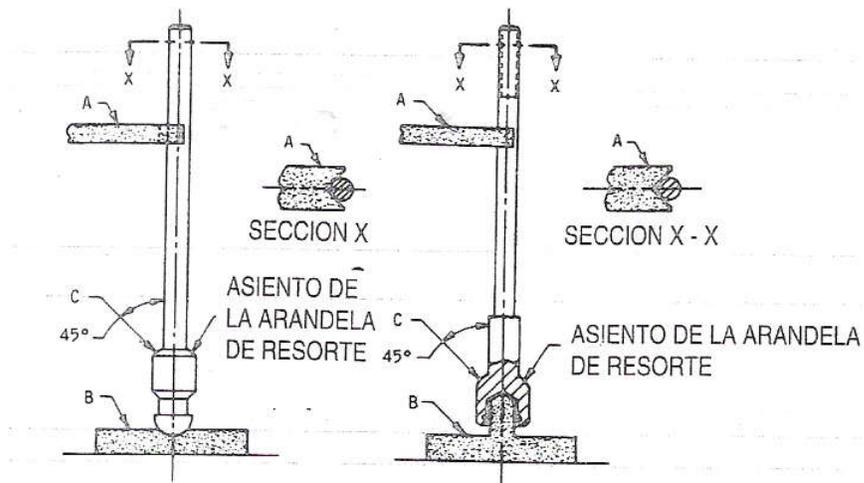
El Técnico verifica después del proceso de maquinado, que las áreas del sello, las dimensiones para las boquillas y los discos todavía cumplan con las tolerancias establecidas en los Estándares de los Fabricantes de Válvulas de Seguridad y Alivio (ASME y API). (Tablas II a V).

El técnico podrá maquinar las boquillas y los discos pero debe pulirlas cuidadosamente, (lapeando en forma de ocho.) Este debe verificar el acabado utilizando fuentes de luz monocromática y platina óptica de cuarzo<sup>13</sup>. Donde sea posible, los fuelles de las válvulas balanceadas tipo fuelle (bellows), deben probarse con gas. Los fuelles deben verificarse con un accesorio adecuado para detectar fugas. Una vez realizados estos, no debe presentarse ninguna fuga.

Un punto crucial antes del armado, es la verificación de la concéntrica del vástago (ver Figura 36). Es importante que el vástago de una válvula de alivio de seguridad este recto para que transmita la carga del resorte al disco sin atascamiento lateral. El exceso de bloqueo (atoramiento) es una de las causas más comunes de los vástagos doblados (Figura 35) y debe tenerse cuidado al momento del mantenimiento, inspección y armado de la válvula.

---

<sup>13</sup> La DVCD (Dresser Valve and Controls División) recomienda modelos fabricados por Bausch and Lomb Optical Co, Rochester, N.Y.



*Figura 35. Vástago de una válvula*



*Figura 36. Vástago de una válvula de alivio de seguridad real*

## **7.5. ARMADO**

Los dispositivos de alivios pueden volverse armar fácilmente después de realizar el mantenimiento requerido de las piezas internas. Siempre se debe de limpiar las piezas antes de armarlas, prestar atención a las superficies de guías, superficies de apoyo, caras de bridas, rebajos y ranuras del retenedor.

Al armar, el Técnico coloca los anillos de la boquilla y los anillos de guía de acuerdo a los parámetros recomendados por el Fabricante para la prueba en los bancos. También se inspeccionan todas las empaquetaduras y se renueva cualquier pieza que requiera reemplazo. Cuando se requiera, todas las boquillas hacia las juntas del cuerpo deben llevar una empaquetadura. Las Válvulas de Seguridad y Alivio deben ser armadas por el técnico de acuerdo con los Planos del Fabricante, si estos no están disponibles se traza un diagrama de cada paso en el desarmado de la válvula.

## **7.6. PRUEBA DE DISPARO FINAL EN BANCO**

Las válvulas deben probarse simulando al máximo las condiciones de operación con Aire y/o Nitrógeno para válvulas con servicio de gas, y Agua y/o Aceite para válvulas con servicio de líquidos. Para el disparo en frío en el banco, las válvulas de servicio caliente, temperatura ambiente, líquido o que trabajan con vapor saturado se aplicará el factor de corrección por temperatura indicada en los manuales de mantenimiento de los fabricantes.

Se debe ajustar la válvula para que abra a la presión prefijada como se indica en la placa de identificación. Si en la placa se indica una presión prefijada diferencial en frío<sup>14</sup>, se ajusta la

---

<sup>14</sup> La presión prefijada diferencial en frío es la presión prefijada corregida para compensar la contra presión y/o la temperatura de operación.

válvula para que se abra a esa presión<sup>15</sup>. Si no esta disponible la temperatura de operación, no se hará ninguna corrección a la presión prefijada de la válvula debido a la temperatura.

La tolerancia de la presión prefijada es de  $\pm 2$  psi para las presiones prefijadas inferiores a 70 psi y  $\pm 3\%$  para las presiones iguales o superiores de 70 psi<sup>16</sup>.

Durante las pruebas en la fábrica de las válvulas de seguridad y de alivio de seguridad, a menudo se prueban a temperaturas diferentes de aquellas a las cuales van a estar expuestas una vez instaladas. Al aumentar la temperatura sobre el ambiente la presión prefijada baja. Esta reducción en la presión prefijada se debe a la expansión térmica del área de asiento y aflojamiento del resorte (Figura 37).



*Figura 37. Resorte de una válvula de alivio de presión*

Por tanto, es importante compensar la diferencia entre la temperatura de prueba de la fábrica y la temperatura de servicio<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup> Si se van a modificar la presión prefijada o la contra presión, o si la temperatura de servicio cambia, puede ser necesario determinar una nueva presión prefijada diferencial en frío.

<sup>16</sup> Las válvulas se deben verificar de acuerdo a los requisitos del API 527, como mínimo.

<sup>17</sup> La temperatura de servicio es la temperatura normal de operación de la válvula.

La tabla VI da los multiplicadores de presión prefijada que deben usarse para calcular la presión prefijada diferencial en frío (CDS), para las válvulas que se están ajustando en el banco de prueba de aire o agua a temperatura ambiente.

Multiplicadores de presión prefijada para CDS.			
Temp. de operación (F)	Multiplicador	Temp. de operación (F)	Multiplicador
250	1.003	900	1.044
300	1.006	950	1.047
350	1.009	1000	1.050
400	1.013	1050	1.053
450	1.016	1100	1.056
500	1.019	1150	1.059
550	1.022	1200	1.063
600	1.025	1250	1.066
650	1.028	1300	1.069
700	1.031	1350	1.072
750	1.034	1400	1.075
800	1.038	1450	1.078
850	1.041	1500	1.081

*Tabla VI. Multiplicadores de presión prefijada para CDS a temperatura ambiente.*

Las válvulas que vayan a usarse en aplicaciones de vapor saturado se prueban en vapor saturado y, por tanto, no se requiere CDS. Sin embargo, las válvulas en aplicación de vapor recalentado se prueban en vapor saturado y, por tanto, requieren CDS.

La tabla VII muestra el multiplicador que debe usarse basado en la temperatura sobre la temperatura saturada (grados de calentamiento).

Multiplicadores de presión prefijada para CDS (temp. de recalentamiento)	
Grados de recalentamiento (F)	Multiplicador
100	1.006
200	1.013
300	1.019
400	1.025
500	1.031
600	1.038
700	1.044
800	1.050

*Tabla VII. Multiplicadores de presión prefijada a temperatura saturada.*

Después del último ajuste del resorte y después de asegurar la contra-tuerca, la prueba de presión en frío de la válvula de alivio de seguridad es presenciada por un Inspector o supervisor.

Los manómetros utilizados en el banco deben ser certificados como **class 0.6**, estar en buen estado y calibrados. Solamente se deben utilizar manómetros de pruebas dentro del rango del 10% al 100% de la deflexión de escala completa para poder verificar las presiones en frío. (Lectura en el tercio medio del manómetro).

Cuando el diseño lo permite, todas las válvulas de alivio deben ser probadas con aire para verificar hermeticidad por contrapresión, con la excepción de las válvulas de alivio con servicio de vapor o de aire que descargan a la atmósfera. Una presión mínima de 2 barg, o la contrapresión indicada en la data-sheet<sup>18</sup>, deberán aplicarse a través de la brida de salida de la válvula a su vez todas las juntas deben probarse con un detector de fugas, para asegurarse que no haya escapes.

<sup>18</sup> Data – Sheet es la placa que indica las características de la válvula; presión, temperatura, etc.

Las válvulas generalmente dan mejor resultado si la presión de operación no excede de 90% de la presión prefijada. Sin embargo, en las tuberías de descargas de las bombas y compresores, la diferencia requerida entre la presión de operación y la prefijada puede ser mayor debido a las pulsaciones a presiones provenientes de un pistón alternativo. Se recomienda ajustar la válvula a la presión de operación más alta posible.

Después de terminada la prueba exitosamente, la válvula se cierra y se instala su respectiva placa con la fecha actualizada.

El Técnico del Taller registra la información del disparo y cierre de la prueba en un formato o libreta, para luego ser asentada en el texto extendido de la OT. El Técnico que realice la reparación y calibración final identificará en el texto extendido o donde corresponda “Comentarios” del Certificado de Prueba de la Válvula con su nombre o sus iniciales.

## **8. APLICACION DEL PROGRAMA ESTADÍSTICO WEIBULL PARA ESTABLECER UN MODELO DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESION (DESAHOGO) EN LA REFINERIA ECOPETROL S.A.**

Una de las estrategias estándar del mantenimiento para las válvulas de seguridad y de alivio, es sacarlas de operación a intervalos fijos, llevarlas a taller, revisarlas y posiblemente calibrar la presión de abertura (presión prefijada). También se debe revisar las modalidades y avisos de fallas que puedan estar en desarrollo. Esta monografía describe dos filosofías para determinar mantenimiento a intervalos ideales:

- La probabilidad de “*fallar la valvula cuando esta este en operación*”, la cual no deberá exceder un nivel aceptable por la compañía.
- El intervalo de mantenimiento esta determinado como “*un intervalo económico y óptimo*”, donde el costo de mantenimiento preventivo es comparado con el costo esperado por las fallas que genere la válvula.

La primera filosofía puede ser utilizada cuando los estándares de la compañía (ECOPETROL S.A) requieren una disponibilidad específica para las válvulas de seguridad o de alivio. La segunda filosofía puede ser utilizada en situaciones cuando no hay requisitos absolutos con respecto a disponibilidad e intervalos de mantenimiento, dando como resultado una optimización económica. Este trabajo nos enfocaremos primero en desarrollar la primera filosofía como alternativa para así poder establecer las frecuencias óptimas de mantenimiento, ya que la Compañía considera que estos elementos son críticos y constituyen los últimos niveles de protección ante eventos que pueden generar perdidas humanas y de contención. Por tanto el aspecto económico para el mantenimiento de válvulas no es tenido en cuenta, ya que por políticas de seguridad de la empresa no aceptan ningun tipo de riesgo cuando se trata de personas; Además estos dispositivos requieren

mantenimiento a cualquier costo ya que estos al momento de fallar pueden ocasionar accidentes de altos niveles que traen costos y riesgos mucho mayores que si se le aplica un mantenimiento preventivo basado en la segunda filosofía. Todo esto ha sido comprobado por los ingenieros de la refinería con base a las experiencias vividas en esta y otras empresas del mundo, también basándose en las reglamentaciones gubernamentales y el máximo organismo de industrias petroleras el API.

La población de válvulas de seguridad y alivio en la Refinería de Cartagena es 468 válvulas. Para efectos de ilustrar la lógica utilizada para la determinación del modelo, se analizarán 3 válvulas (Tabla VIII) teniendo en cuenta su criticidad, ubicación, frecuencia de mantenimiento y el modo de falla más crítico, utilizando y analizando el programa WEIBULL para cada una de estas válvulas, introduciendo en el la frecuencia de mantenimiento (desde la aplicación del primer mantenimiento hasta el actual). Para una mayor comprensión, comenzaremos hablando del funcionamiento de este programa basado en la probabilidad en la sección 8.1.

UNIDA 01	TAG	MARCA	LOCALIZACIÓN	FRECUENCIA ACTUAL DE MANTTO
DESTILACION PRIMARIA (CRUDO)	PSSV304A	FA	CIMA T. ATMOS. PS-T-307	18
RUPTURA CATALITICA (URC)	FFSV551A		T. FRACCIONADORA	12
VISCOREDUCTORA (VB)	VBSV202		T DE VACIO	24

*Tabla VIII- válvulas a analizar*

### 8.1. *MODELO WEIBULL.*

El análisis de Weibull es la técnica mayormente elegida para estimar una probabilidad de cualquier cosa que se desee, basándose en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull descubierta por el sueco **Walodi Weibull**, fue anunciada por primera vez en un escrito en 1951. La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, Log-Normal y la Exponencial. Las técnicas discutidas en la distribución de Weibull son similares a las usadas con las distribuciones Normal y Log-Normal.

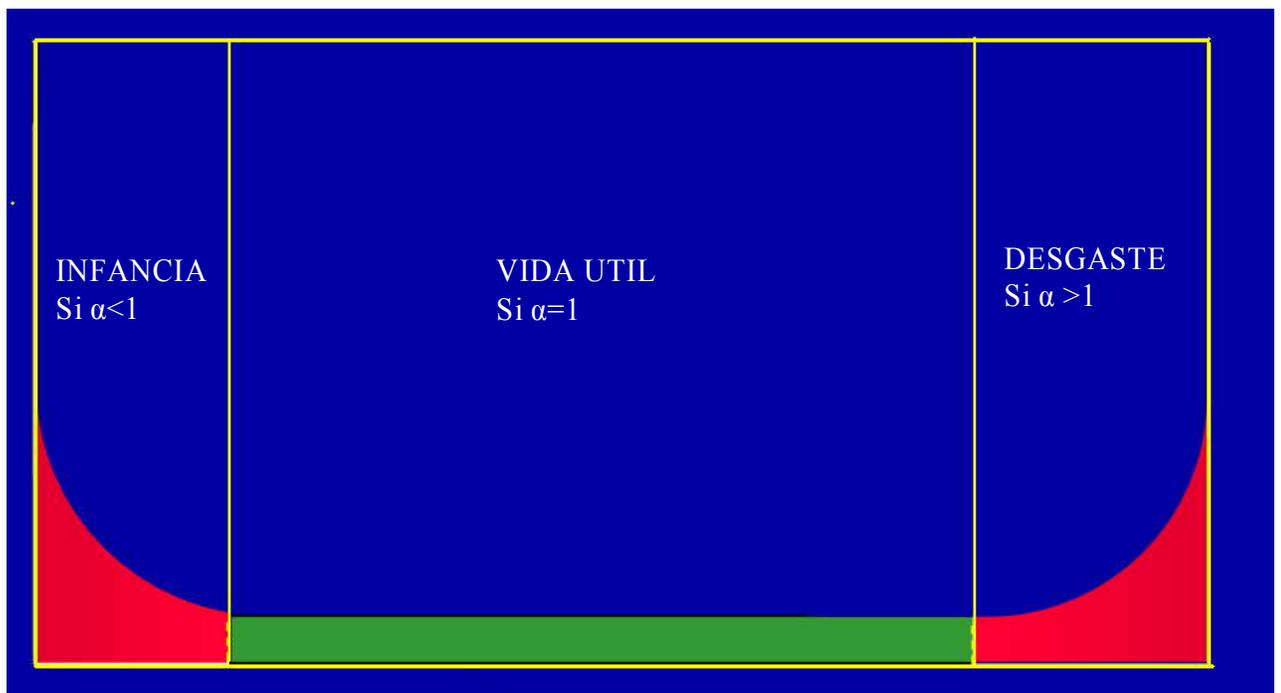
La ecuación de la distribución acumulativa de Weibull esta dada por la formula:

$$F(t) = 1 - e^{-(\lambda t)^\alpha}$$

Donde

- $F(t)$ : es la probabilidad de que el tiempo de vida sea más breve o sea cero, lo que significa que el equipo entra en falla. El tiempo de vida no es más que la vida útil de un equipo, en nuestro caso dispositivos de alivio de presión. Este comienza desde que el dispositivo entra en operación hasta que este deje de funcionar y no pueda ser puesto de nuevo en funcionamiento debido a la vejez o fallas constantes en el.
- $\lambda$  y  $\alpha$  son el factor de escala y el factor de forma respectivamente. El factor de escala  $\lambda$  implica cuando el componente es siempre “tan bueno como nuevo”, y no se requiere ningún tipo de mantenimiento preventivo, excepto por pruebas de funcionalidad para revelar fallas ocultas. Si el factor de forma  $\alpha=1$  tenemos que la distribución exponencial se caracteriza por una tasa constante de fallas. Si  $\alpha > 1$ , el grado de falla incrementa con el tiempo, este puede ser utilizado como modelo del caso donde algún mecanismo presente de degradación o desgaste. Si  $\alpha < 1$ , el grado de falla disminuye con tiempo,

esta situación se presenta cuando el equipo nuevo (en nuestro caso dispositivos de alivio de presión) es puesto en funcionamiento y este no presenta ningún tipo de falla al iniciar su vida. Como un ejemplo claro de esta aplicación tenemos la curva de la bañera (Figura 38), en donde la etapa de infancia (inicio de la vida) de las válvulas corresponde el valor de  $\alpha < 1$ ; para  $\alpha = 1$  corresponde a la vida útil, donde esta puede presentar probabilidad de fallas constantes (segmento verde), debido a varios factores que se explicarán en la sección 8.4; Por último tenemos cuando  $\alpha > 1$  que se presenta en la etapa final, desgaste o vejez de los elementos, debido al tiempo de uso del dispositivo.



*Figura 38- Grafica de la bañera.*

Las válvulas a ser analizadas tal vez tengan diferentes modos de falla, pero en este trabajo solo analizaremos el modo de falla más crítico que se presenta en la REFINERÍA DE ECOPEPETROL S.A., el cual se hablará más adelante en la sección 8.4.

## **8.2. MODELO ESTADÍSTICO DE FALLAS (PROBABILIDAD DE FALLA) EN LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESION**

Las fallas en las válvulas de seguridad a menudo son descubiertas por circunstancias ajenas al mantenimiento, otras veces son descubiertas durante el mantenimiento y otras después de aplicado el mantenimiento. Estas circunstancias las podemos llevar a un modelo estadístico generalizado, basándose en las experiencias adquiridas por los técnicos y normativas que rigen a estas. Al pasar estas circunstancias a un modelo estadístico debemos definir cada una de ellas con una constante para una mejor interpretación y rapidez en el cálculo estadístico en el programa Weibull. Cabe notar que algunas de estas constantes pueden ser combinadas entre ellas debido a que pueden presentarse simultáneamente estas circunstancias.

- Hay cierto intervalo de tiempo “ $u$ ”, durante el cual, una falla en proceso de desarrollo puede ser descubierta antes de que el equipo falle. Para los modos de fallas que no dan ningún tipo de advertencia previa, “ $u=0$ ”. Este caso se presenta cuando se aplica el mantenimiento predictivo.
- Hay cierta probabilidad “ $p$ ”, de que una falla en proceso de desarrollo sea descubierta durante mantenimiento. Si se descubre, la unidad será reparada. La probabilidad que una falla en proceso de desarrollo no sea descubierta esta definida como “ $1 - p$ ”.
- Hay cierta probabilidad “ $q$ ”, de que una falla sea introducida durante mantenimiento y de que no se refleje hasta que la unidad este de nuevo en operación. Para la modalidad de fallas “ $q$ ”, también incluyen fallas que no pueden ser descubiertas en el mantenimiento.
- Hay cierta probabilidad de que el mantenimiento se realiza en los intervalos fijos “ $\tau$ ”. Este es el caso del mantenimiento preventivo el cual es el más aplicado a estos dispositivos.

- Hay cierta probabilidad que inmediatamente después del mantenimiento de la válvula queda “como nueva”, con la probabilidad de que ocurra “p-q”. Esto quiere decir que ningún “Envejecimiento a largo plazo” se incluye en el modelo, solamente el envejecimiento durante el intervalo de tiempo “t”.

### **8.3. MODOS DE FALLA PARA VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO**

Los modos en que fallan las válvulas son consecuencias de un mal mantenimiento o en otros casos diseño de la misma. Estas fallas son tomadas en cuenta por los fabricantes para mejorar sus productos. Las fallas son generalizadas, ya que estas pueden ocurrir por causa de algún componente de la válvula.

En esta monografía hablaremos de una forma general de estos modos de falla, pero para el análisis weibull utilizaremos solo uno (el mas común), ya que sería, en cierta forma, un procedimiento repetitivo para los demás modos de falla. Este serviría como un modelo para el análisis de los demás modos de falla.

**8.3.1. FALLA PARA OPERAR O FAIL TO OPEN (FTO).** Esta modalidad de falla se presenta cuando en una situación de emergencia la válvula de alivio no se abre a la presión predeterminada. Sin embargo, uno debe considerar la definición de la falla cuidadosamente. Usamos frecuentemente la definición falla también, cuando la válvula se abre a una presión más alta que la presión de diseño del equipo que esta protegiendo.

**8.3.2. FALLA POR FUGA O ESCURRIENTO (FFO).** Esta modalidad de falla se da cuando la válvula de alivio presenta fuga, cuando esta es instalada en el equipo o se encuentra en operación. Esta ocurre por diferentes razones.

- Por la presión de funcionamiento.

- Por la corrosión o erosión.
- Por las tolerancias de disparo.
- Por presencia de partículas sólidas entre el asiento y el disco.
- Por que la tubería de salida no tiene soporte.
- Esfuerzos térmicos en la tubería de salida.
- Vibración en la tubería o en el equipo que se esta protegiendo.
- Mala instalación de la válvula en el equipo.
- Mal armado de la válvula.
- Mal lapéado de los asientos.

**8.3.3. FALLA POR TRAQUETEO (FPT).** Esta falla se da cuando la válvula (más en la de seguridad) esta en operación y requiere aliviar pequeñas descargas de presión del equipo que esta protegiendo; La válvula al entra en funcionamiento se le escucha un traqueteo por varios factores:

- Cuando la válvula es demasiado grande; Si el volumen de fluido es 15% menor de la capacidad nominal, se presentara este traqueteo.
- Cuando hay caída de presión en la tubería hasta la entrada de la válvula; Estas se presentan por las pérdidas en la entrada de la tubería, más cuando el diámetro del orificio de la válvula es grande en comparación con el tamaño de la tubería de entrada.
- Cuando hay variación de presión; Estas se presentan en la entrada de la válvula de alivio ocasionando el traqueteo. También se presenta cuando hay contrapresión variable<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Para correcciones, consultar el código ASME sección VIII, div 1.

**8.3.4. ABERTURA FALSA (SPO).** Esta modalidad de falla cubre básicamente la situación, en donde la válvula de alivio se abre a la presión normal de operación del sistema. Una vez más uno necesita considerar la definición de la falla.

- La fuga a través de la válvula tendrá consecuencias similares y puede ser incluido en esta modalidad de falla.
- Cuando la válvula esta mal armada trae como consecuencia la apertura falsa.
- Cuando la válvula utiliza servicio de alta temperatura y esta se gradúa a la temperatura ambiente, ocasiona dilatación térmica de los componentes internos y por ende abertura falsa.

Para las modalidades de fallas definidas anteriormente tienen algunas diferencias importantes, las cuales nos da para escoger cual es la que servirá de modelo para la aplicación de weibull:

FTO significa que una barrera de seguridad está perdida, pero no hay consecuencias hasta que haya una necesidad de que la válvula se abra, por ejemplo: una acumulación de la presión en el sistema. Además, la falla no será descubierta durante la operación normal. Un concepto útil para tal modo de falla es el *Tiempo Muerto Fraccional Medio* (MFDT), el cual basado en el modelo anterior, esta definido por la formula:

$$MFDT = \lambda^{\alpha} \left( T^{\alpha-1} - \frac{PU^{\alpha}}{T} \right) \frac{T - PU}{2} + q$$

Debe observarse que los parámetros  $\lambda$ ,  $\alpha$ , p, q y u deben estimarse para la modalidad de falla FTO.

Para SPO, FFO y FPT normalmente no dará problemas de seguridad, pero dará una pérdida económica de contención y posiblemente por cese de la producción para efectuar la

reparación, lo cual no es de preocupación en la refinería, ya que estas se pueden recuperan con el tiempo.

La tasa de disparo por aperturas falsas se da por la siguiente ecuación cuyas variables se discutieron en la sección 8.2:

$$STR = \lambda^{\alpha} \left( t^{\alpha-1} - \frac{pu^{\alpha}}{t} \right) + \frac{q}{t}$$

Una vez más uno debe observar los parámetros  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $p$ ,  $q$  y  $u$ , ya que deben estimarse para la modalidad de falla SPO, que en nuestro caso no la utilizaremos.

En nuestro caso tomaremos la modalidad de falla FTO, ya que por políticas de seguridad de la refinería, los códigos y normas que rigen tanto los dispositivos de alivio como los recipientes a presión (ASME Sección VIII Y API RP 5-20), los riesgos que traen al momento de presentar falla la válvula traen graves consecuencias. En comparación con los demás modos de falla (SPO, FFO y FPT), esta puede trae consecuencias, en donde la sobre presión del recipiente puede ocasionar explosiones, no solo en el equipo si no en sus alrededores en forma de cadena, perdidas económicas a gran escala, impactos ambientales y perdidas humanas. Por estas consecuencias prefieren tener perdidas del contenido en el equipo, tener una parar de la planta para el mantenimiento de la válvula o invertir cualquier cantidad de dinero para la corrección de la falla. Además este modo de falla es el mas critico presentado en las válvulas de seguridad a nivel industrial, debido a que es un modo de falla oculto el cual no será descubierto durante la operación normal, por ende el modo de falla FTO fue la alternativa para establecer los periodos óptimos de mantenimiento ya que la compañía considera que estos elementos son críticos y constituyen los últimos niveles de protección ante cualquier eventos.

#### 8.4. INTERVALO DE MANTENIMIENTO.

**8.4.1. Disponibilidad requerida.** Según lo mencionado en la introducción de este capítulo, puede existir un requisito para una disponibilidad mínima de la válvula de seguridad definidos por análisis de riesgo, estándares de las compañías o regulaciones de las autoridades (ASME O API). En este caso, el intervalo de mantenimiento apropiado se da resolviendo la ecuación con respecto a “ $\tau$ ”, mediante el programa Weibull.

$$MTDT = \lambda^{\alpha} \left( t^{\alpha-1} - \frac{pu^{\alpha}}{t} \right) \frac{t - pu}{2} + q$$

En general esta ecuación se debe solucionar numéricamente, excepto para algunas situaciones especiales en que puede ser solucionada analíticamente. En el caso de que  $\alpha=1$ , lo cual representa una tasa de fallas constante, terminando con una ecuación de segundo grado la cual puede ser fácilmente resuelta, dándonos el intervalo de mantenimiento:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left( \lambda pu + MFDT - q + \sqrt{(\lambda pu + MFDT - q)^2 - (\lambda pu)^2} \right)$$

Aun en casos más especiales:

- $u=0$  significando que ocurre una falla sin preaviso
- $q=0$  lo que significa que no se introduce ninguna falla durante mantenimiento. Esto es garantizado en los programas de mantenimiento de válvulas de seguridad a través de las calibraciones y pruebas que se realizan en los bancos de prueba certificados.

Terminamos con la fórmula:

$$t = \frac{2MFDT}{\lambda}$$

Como antes, cuando estamos utilizando el concepto de MFDT, los parámetros se deben ser calculados para la modalidad de falla de FTO.

### ***8.5. FUENTES DE DATOS DE LAS VALVULAS DE LA REFINERIA ECOPETROL (HISTORIAL DE MANTENIMIENTO)***

Para utilizar el acercamiento descrito, necesitamos estimar los valores de los factores en la bases datos de las válvulas en la refinería, donde se encontrará buenas estimaciones para  $\lambda$  y a veces  $\alpha$ , pero no para el resto de los parámetros.

Basándonos en el historial de mantenimiento que maneja la refinería (ELLIPSE), y tomando como referencia las válvulas descritas en la tabla VIII, encontramos las fechas en las cuales estas válvulas fueron sacadas de servicio y llevadas al banco de pruebas para su posterior análisis, en el cual se determina si pasa o no la prueba (tabla IX, X y XI).

	REPARACIONES
	SUSPENSIONES
TTR	TIEMPO A LA REPARACION

HISTORIAL DE MANTENIMIENTO ELLIPS PARA UN MODELO DE FALLA COMUN FTO.			
TAG	PSSV304A		
No	FECHA DE MANTENIMIENTO	PRUEBA	TTR
1	Ene-95		
2	Ago-96		-19
3	Dic-96		-4
4	May-97		5
5	Jun-98		-13
6	Nov-98		5
7	Abr-99		-5
8	May-00		-13
9	Feb-02		21
10	Ene-03		11
11	Feb-04		-13
12	May-05		-15
13	Feb-06		-9
14	Abr-07		13

*Tabla IX- válvula PSSV304A*

HISTORIAL DE MANTENIMIENTO ELLIPS PARA UN MODELO DE FALLA COMUN FTO.			
TAG	VBSV205		
No	FECHA DE MANTENIMIENTO	PRUEBA	TTR
1	Feb-96		
2	May-97		15
3	Feb-99		-21
4	Feb-02		36
5	Mar-04		25
6	Jun-06		-27
7	Abr-07		10

*Tabla X- válvula VBSV205*

HISTORIAL DE MANTENIMIENTO ELLIPS PARA UN MODELO DE FALLA COMUN FTO.			
TAG	FFSV551A		
No	FECHA DE MANTENIMIENTO	PRUEBA	TTR
1	Feb-95		
2	Ago-95		-6
3	May-96		9
4	May-97		-12
5	Dic-97		-7
6	Oct-98		-10
7	Feb-01		-14
8	Mar-02		-13
9	Mar-04		24
10	Mar-05		12
11	Jun-06		-15
12	Feb-07		7

*Tabla XI- válvula FFSV551A*

Si la válvula después de 3 pruebas dispara correctamente, se suspende (procedimiento de suspensión), tomando la decisión de colocar la válvula de nuevo en operación. Pero si la válvula no dispara a la presión de diseño, se toma inmediatamente la decisión de desarmarla e inspeccionar para determinar la causa de su falla, aplicando tanto el mantenimiento correctivo y/o preventivo.

Hay que tener en cuenta que la frecuencia actual de mantenimiento, son los tiempos establecidos a los cuales las válvulas se les deberían aplicar el mantenimiento, pero el historial de ella demuestran que son sacadas de operación en un tiempo muy diferente al que establece la refinería; esto quiere decir que muchos de estos procedimientos se dan por circunstancias ajenas que suceden en la refinería. Estos pueden ser por paradas de planta, si se le aplica mantenimiento preventivo y/o correctivo a algún componente del recipiente o si se le va a implementar alguna mejora a estos componentes.

Para la estimación de la frecuencia actual de mantenimiento, la refinería se basa en las recomendaciones del fabricante cuando estas son nuevas y después de cierto tiempo se basan en los resultados del banco de pruebas, por ejemplo, cuando una válvula nueva “x” se instala, esta se le aplica el mantenimiento según la recomendación del fabricante (1 año), pasado un tiempo, esta frecuencia se le aumenta dependiendo de los resultados del banco de prueba, si al aplicarle varias pruebas estas son positivas, la válvula dispara a la presión correcta (en otras palabras se procede a la suspensión), se les aumenta el tiempo de mantenimiento que recomiende el encargado (técnico experto en estas válvulas), en este caso supondremos que serán 3 meses mas, si esta sigue arrojando resultados positivos se le aumenta 3 meses mas y así sucesivamente hasta que alguna de las pruebas de negativa, aplicándole su respectivo mantenimiento correctivo y/o preventivo; o en otros casos si la válvula comienza a fallar cuando se encuentre en operación se determina por medio del tiempo que duro funcionando correctamente.

Vale la pena recalcar que en todas las plantas, en nuestro caso Destilación Primaria, Ruptura Catalítica y Viscoreductora, no se manejan las mismas frecuencias de mantenimiento, ni la misma confiabilidad. Esto se debe a que en cada una de la criticidad es diferente, se manejan diferentes productos, a su vez hay que tener en cuenta que la corrosión en el ambiente y las demás variables que se presentan en los procesos industriales pueden disminuir o incrementar las frecuencias.

#### ***8.6. ANALISIS WEIBULL DE LAS VALVULAS***

Al tomar los valores “TTR” e introducirlos en el programa de Weibull, nos arrojará la grafica de probabilidad de falla vs. Meses. Para el análisis de estos resultados tomaremos una probabilidad de falla del 30%, la cual nos dará la frecuencia óptima de mantenimiento para cada una de las válvulas.

8.6.1. Válvula “PSSV304A” tiene el siguiente análisis en weibull (Figura 39).

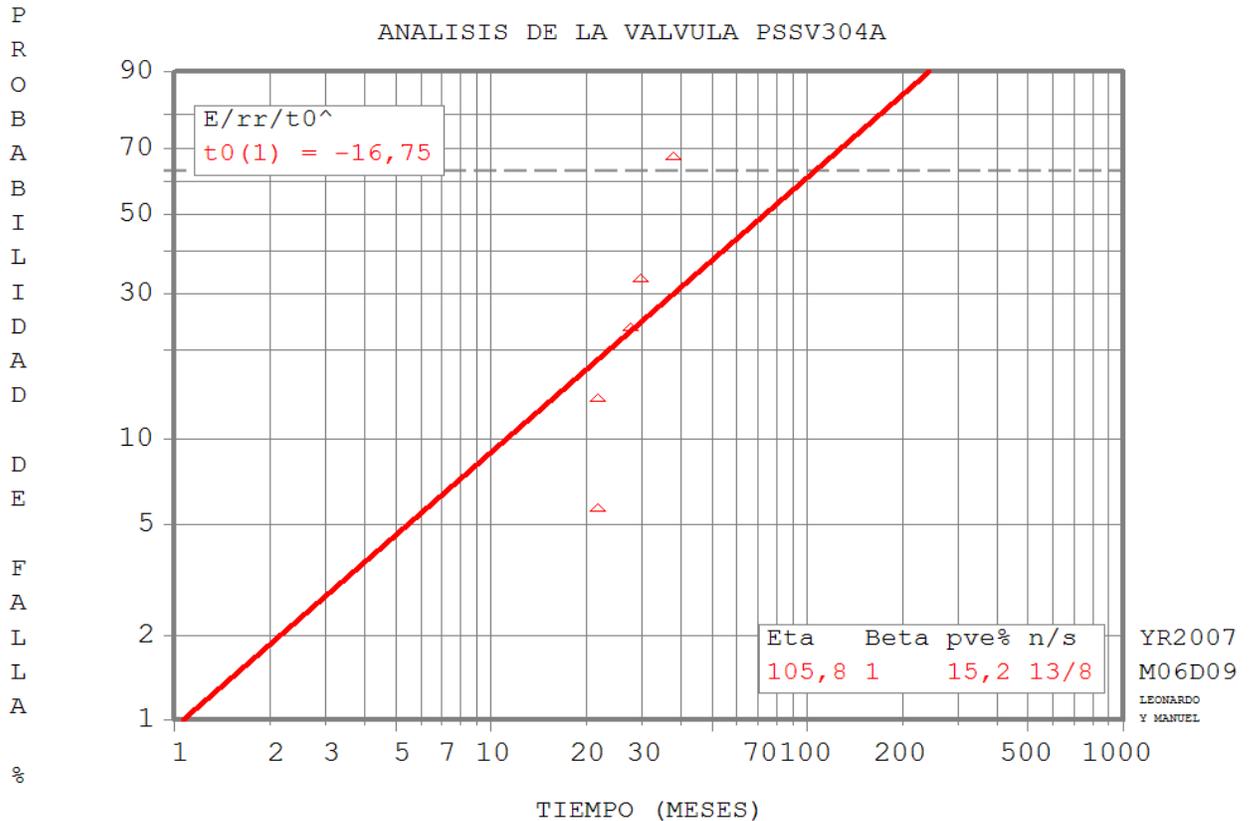


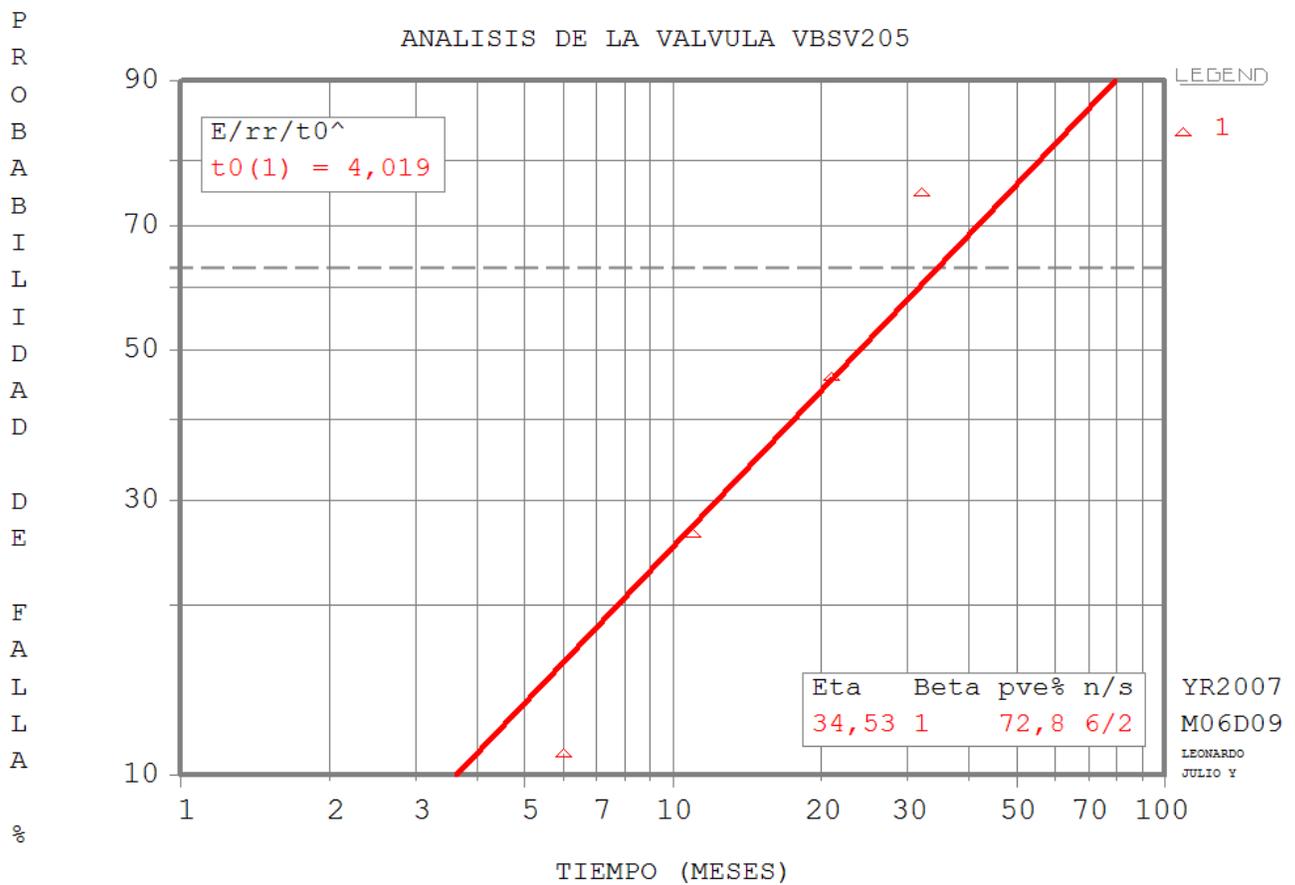
Figura 39- Análisis weibull de la válvula PSSV304A

- Nos damos cuenta que el valor de beta es 1, esto indica que la válvula se encuentra en su etapa de madurez, donde la tasa de fallas es constante, esto coincide con la edad del equipo en relación con el tiempo (meses) que se espera que este funcionando bien.
- También nos podemos dar cuenta que para una probabilidad de falla de 30%, nos da un tiempo de 40 meses, en este tiempo la válvula debe operar con una confiabilidad del 70%, este porcentaje de confiabilidad es el establecido por la refinería. Estos nos dice que la válvula debe trabajar sin que falle estos 40 meses, este resultado esta por encima de los establecidos por la refinería actualmente.
- Un factor importante es que esta válvula, en la refinería tiene establecido una frecuencia de mantenimiento de 18 meses, los cuales dan una probabilidad de falla del 15%, lo que quiere decir que esta válvula opera con una confiabilidad del 85%.

- Si comparamos esta confiabilidad con la hallada podemos aumentarle algunos meses para un posterior mantenimiento debido a las políticas impuestas en la empresa para el funcionamiento confiable de las válvulas (70% de confiabilidad).

Como resultados podemos decir que a partir de este análisis la válvula “PSSV304A”, se le debe aplicar un mantenimiento cada 40 meses (3 años y 3 meses) con base a su historial de mantenimiento, para que esta tenga una confiabilidad de operación del 70%.

**8.6.2. Válvula “VBSV205” tiene el siguiente análisis en Weibull (Figura 40).**



*Figura 40- Análisis weibull de la válvula VBSV205*

- Nos damos cuenta que el valor de beta es 1, esto indica que la válvula se encuentra en su etapa de madurez, donde la tasa de fallas es constante. Esto coincide con la edad del equipo en relación con el tiempo (meses), que se espera que este funcionando bien.
- También nos podemos dar cuenta que para una probabilidad de falla de 30%, nos da un tiempo de 15 meses, en este tiempo la válvula debe operar con una confiabilidad del 70%, este porcentaje de confiabilidad es el establecido por la refinería. Esto nos indica que la válvula debe trabajar sin que falle estos 15 meses. Este resultado está por debajo de los establecidos por la refinería actualmente, debido a que la válvula se le está practicando continuamente mantenimiento por no disparar a la presión de diseño y representaría un gran riesgo dejar la antigua frecuencia de mantenimiento.
- Un factor importante es que esta válvula, en la refinería tiene establecido una frecuencia de mantenimiento de 24 meses, los cuales dan una probabilidad de falla del 50%, lo que quiere decir que esta válvula opera con una confiabilidad de 50% lo cual no es recomendable en estos componentes y no cumple con el factor de confiabilidad establecido por la refinería.

Como resultados podemos decir que a partir de este análisis la válvula “**VBSV205**”, se le debe aplicar un mantenimiento cada 15 meses (1 año y 3 meses) con base a su historial de mantenimiento, para que esta tenga una confiabilidad de operación del 70% y no esté trabajando con una confiabilidad tan baja (50%), ya que puede presentar fallas con graves consecuencias.

8.6.3. Válvula “FFSV551A” tiene el siguiente análisis en Weibull (Figura 41).

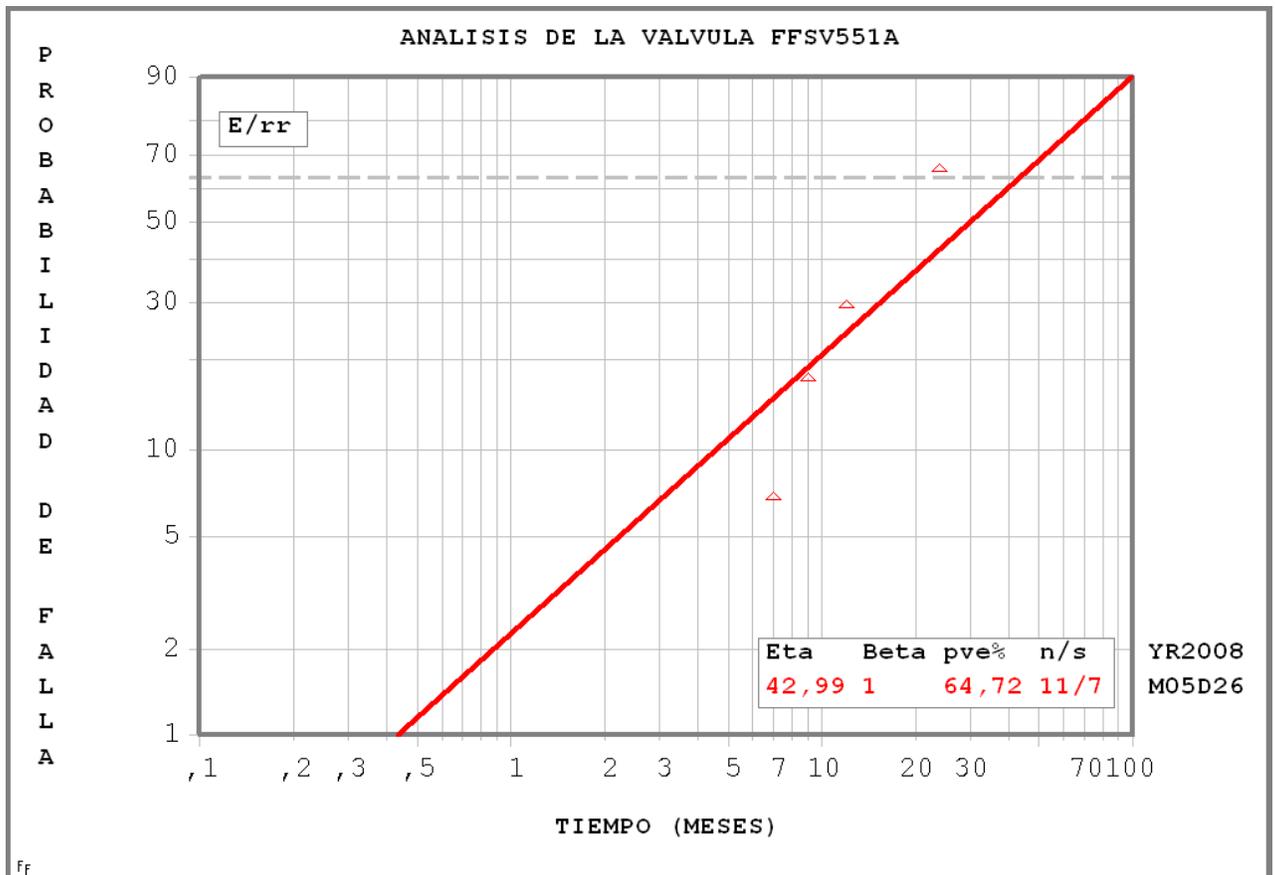


Figura 41- Análisis weibull de la válvula FFSV551A

- Nos damos cuenta que el valor de beta es 1, esto indica que la válvula se encuentra en su etapa de madurez, donde la tasa de fallas es constante, esto coincide con la edad del equipo en relación con el tiempo (meses) que se espera que este funcionando bien.
- También nos podemos dar cuenta que para una probabilidad de falla de 30%, nos da un tiempo de 19 meses, en este tiempo la válvula debe operar con una confiabilidad del 70%, este porcentaje de confiabilidad es el establecido por la refinería. Estos nos dice que la válvula debe trabajar sin que falle estos 19 meses, este resultado esta por encima de los establecidos por la refinería actualmente.

- Un factor importante es que esta válvula, en la refinería tiene establecido una frecuencia de mantenimiento de 12 meses, los cuales dan una probabilidad de falla del 16%, lo que quiere decir que esta válvula opera con una confiabilidad de 84%.
- Si comparamos esta confiabilidad con la hallada podemos aumentarle algunos meses para un posterior mantenimiento debido a las políticas impuestas en la empresa para el funcionamiento confiable de las válvulas (70% de confiabilidad).

Como resultados podemos decir que a partir de este análisis la válvula “*FFSV551A*”, se le debe aplicar un mantenimiento cada 19 meses (1 años y 7 meses) con base a su historial de mantenimiento, para que esta tenga una confiabilidad de operación del 70%.

### 8.7. COMPARACION DE LOS ANÁLISIS DE LAS VALVULAS

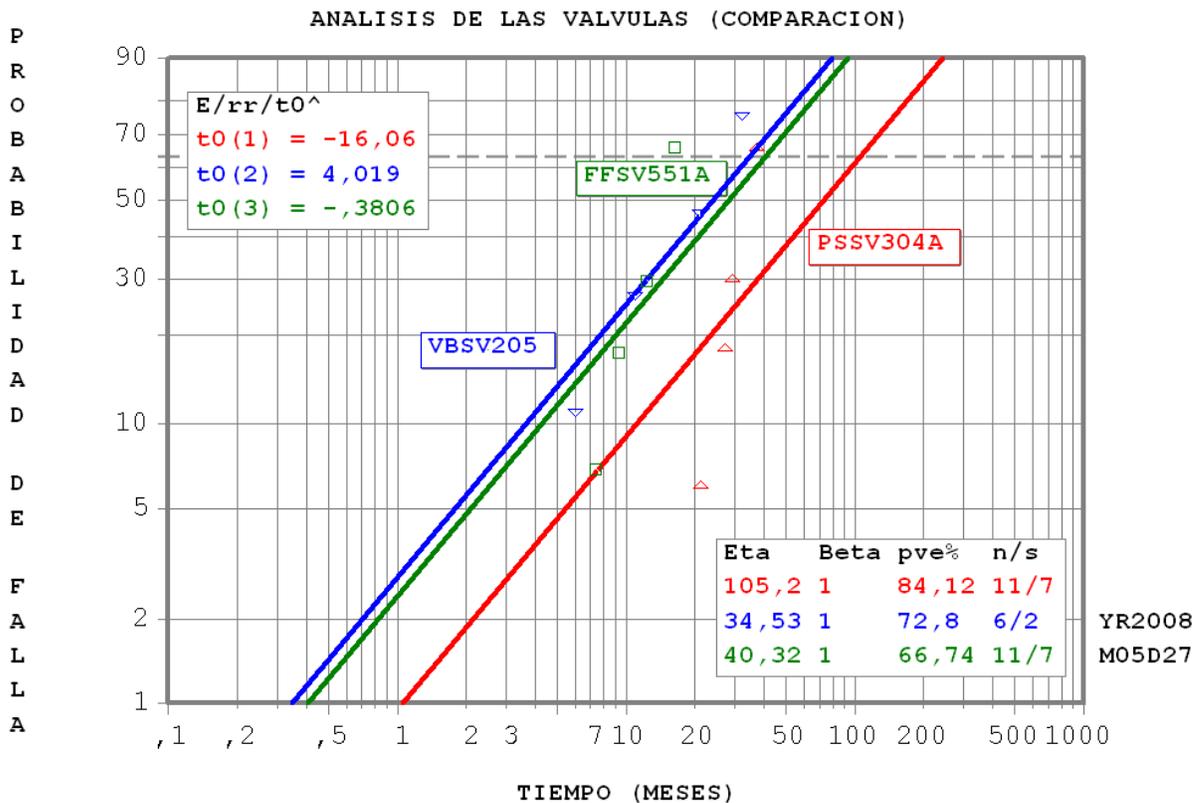


Figura 42- Comparación de probabilidad de falla

Por medio de la comparación de las válvulas, podemos decir que no todas tienen una misma probabilidad de falla, esto depende de cuantas veces la válvulas se llevo al banco de prueba y esta disparo a la presión correcta (suspensión). La válvula que corresponde a la línea de color roja tiene una confiabilidad mayor que la azul debido a lo dicho anteriormente (Figura 42). Entonces, si queremos que una confiabilidad sea alta, debemos de tratar de aplicar el mejor mantenimiento posible para que la válvula tenga menos probabilidad de falla.

### 8.8. CURVA DE CONFIABILIDAD DE LAS VALVULAS

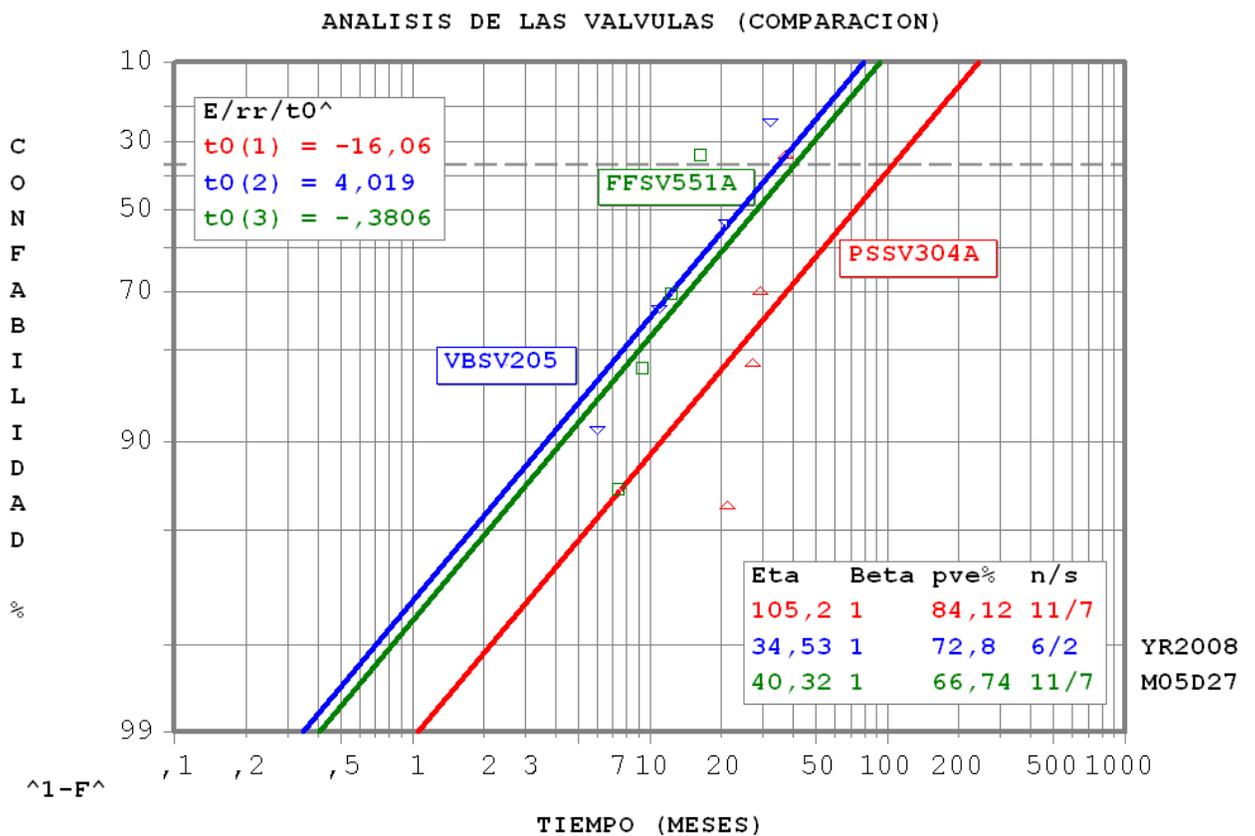


Figura 43- Curva de confiabilidad

En esta sección la confiabilidad es lo contrario a la probabilidad de falla, se puede notar que en el eje “y” los valores de la probabilidad de falla se invierten para obtener la confiabilidad, la cual fue descifrada en los análisis de cada válvula (Figura 43).

## **9. ANTECEDENTES**

Actualmente las frecuencias de mantenimiento se definen por criterios establecidos como recomendaciones de fabricantes, experiencias de los programas preventivos anteriores, vida útil, resultados en los bancos de prueba y regulaciones tanto gubernamentales<sup>20</sup> como la API, ANSI y/o ASME.

### **9.1. RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE**

No golpear la válvula de alivio con martillos ni otras herramientas ni intente cerrar a la fuerza la válvula, ya que esto no detendrá la descarga de fluido y podría dañar las piezas de la válvula de alivio o producir rupturas en el sistema que se esta protegiendo.

Las válvulas de alivio que contienen bronce no deben usarse en servicio de amoníaco anhidro. De lo contrario podrían producirse lesiones personales, daños a la propiedad, explosiones, incendios o contaminación química.

La válvula debe también tener una capacidad suficiente para el tamaño del recipiente en que se usa. La capacidad de la válvula de alivio exigida está en función del área de la superficie del recipiente o sistema a proteger.

La presión de comienzo de descarga indicada en la válvula debe ser la correspondiente a la presión de diseño del recipiente. No use una válvula con una presión de comienzo de descarga mayor que la permitida por la presión de diseño del recipiente.

---

<sup>20</sup> Ministerio de Minas Resolución para Manejo de Sistemas de Gas en Colombia.

Se exigen protectores de lluvia en todas las válvulas. El protector de lluvia debe permanecer en su lugar para evitar que entre humedad y tierra al área de descarga de la válvula de alivio. Un protector fuera de lugar indica que la válvula puede haberse abierto para aliviar la presión excesiva.

La grasa y otros materiales puestos en las cámaras de salida de las válvulas de alivio pueden endurecer la válvula de alivio e impedir su apertura o afectar los materiales de los discos de goma, lo que produce fugas prematuras o posibles rupturas del sistema.

Todos los recipientes deben purgarse para eliminar el aire de su interior. Al no hacer un purgado adecuado puede acumularse presión excesiva y puede estallar la válvula de alivio cuando se llene el recipiente. Siga los procedimientos reconocidos para purgar aire de tanques de almacenamiento.

Cada aplicación determinará si se necesitan escapes o deflectores de descarga. Éstos son dispositivos apartes que se montan en la salida de la válvula para controlar la dirección de la descarga.

## ***9.2. VIDA ÚTIL***

Algunos fabricantes consideran que las válvulas de seguridad de acero tienen una vida útil de 15 años y las de bronce tienen una vida útil de 4 años. Todo esto es válido siempre y cuando la selección de la válvula sea la adecuada para las condiciones de servicio y se le apliquen los respectivos mantenimientos. Pero hay que tener en cuenta que el uso continuo, la corrosión en el ambiente y demás variables que se encuentran en los procesos industriales, disminuyen o incrementan la vida útil de las válvulas.

Todas las válvulas cuentan con la fecha de fabricación. Puede ser necesario hacer reemplazos antes de este plazo debido a condiciones de servicio serias o requisitos de códigos.

### **9.3. BANCOS DE PRUEBAS**

A manera de complemento de lo que se dijo en el capítulo 7 (sección 1 y 6), las válvulas para uso en aire, gases o vapores de gases, deben ser probadas preferiblemente con aire. A su vez las válvulas para uso en líquido deben ser probadas preferentemente con agua.

En el caso de la refinería, las pruebas para válvulas de uso líquidos se hacen con agua y posteriormente con aire para comprobar su disparo ya que el banco no está diseñado para realizar pruebas de disparo con agua.

- Verificación de la presión de ajuste y diferencial de cierre.
  - a) La presión en el banco de pruebas se debe incrementar en forma gradual, de tal forma que permita identificar los diferentes puntos de presión (según aplique) sin confundir lo que es la presión de ajuste de la válvula.
  - b) La prueba debe realizarse en tres ocasiones con el objeto de asegurar que la lectura de los valores observados se repita.

- Expresión de resultados

El término presión de ajuste ha sido causa de muchas ambigüedades de interpretación, además de severos problemas, por lo que es de suma importancia determinar exactamente el tipo de válvula y servicio que se está manejando para aplicar el término de manera precisa.

## ***10. CONCLUSIONES***

Como resultados podemos decir que a partir de este análisis las válvulas “PSSV304A” se les puede aumentar la frecuencia de mantenimiento de 18 a 40 meses y la válvula “FFSV551A” se les puede aumentar la frecuencia de mantenimiento de 12 a 19 meses (los obtenidos en el análisis de estas válvulas). Con este aumento de la frecuencia se logra optimizar el programa de mantenimiento, reduciendo los periodos y manteniendo una confiabilidad del 70% la cual es la establecida por las políticas de la empresa. Es importante anotar que el modelo que se ha establecido no compromete la confiabilidad de estos sistemas, ya que el principal modo de falla en estos sistemas de alivio (FTO) podría generar una condición muy insegura al momento de entrar en funcionamiento la válvula y solo se vera cuando esta entre en acción, ya sea por un mal mantenimiento, por las condiciones de operación o por el fluido que esta contenido en el recipiente; Permitiendo que el recipientes o equipos a presión excedan sus limites de presión de diseño trayendo consigo riesgos de explosión del mismo equipo, liberación de sustancias peligrosas a la atmósfera, perdidas humanas o desarrollar una reacción en cadena de explosione hacia otros equipos cercanos; riesgos que la refinería ECOPETROL no esta dispuesta a correr, prefiriendo invertir cualquier cantidad de dinero en estos dispositivos para que estos riesgos nunca se presenten.

En el caso de la válvula “VBSV205” se le tuvo que reducir la frecuencia de mantenimiento a 15 meses para que esta tuviera la confiabilidad de operación exigida por la refinería (70%), ya que esta venia operando con una confiabilidad del 50% para un periodo de mantenimiento de 24 meses.

Estas dos comparaciones nos hacen concluir que no todas las valvular que se puedan analizar mediante el programa Weibull nos aumentara la frecuencia de mantenimiento si queremos una determinada confiabilidad, ya que todo depende de cuantas veces se saca la válvula de operación ya sea por falla o para aplicarle mantenimiento preventivo; pero el programa Weibull si nos ayudara a obtener un periodo de mantenimiento optimo para estos dispositivos o cualquier otro equipos.

## ***GLOSARIO DE TERMINOS***

- $\alpha$ : Es el parámetro de la escala
- $\lambda$  : Es el parámetro de la forma
- $\tau$ : Intervalo de mantenimiento
- $u$ : intervalo de tiempo durante el cual una falla en proceso de desarrollo puede ser descubierta, antes de que el equipo falle.
- $p$ : Probabilidad que una falla en proceso de desarrollo sea descubierta
- $1-p$ : Probabilidad que una falla en proceso de desarrollo no sea descubierta
- $q$ : Probabilidad de que una falla sea introducida durante mantenimiento
- (FTO): Falla para operar
- (SPO): Falla de abertura falsa
- (STR): Tasa de disparo por aperturas falsas
- (MFDT): Tiempo Muerto Fraccional Medio
- (MTDT): Intervalo de mantenimiento apropiado

## ***BIBLIOGRAFIA.***

- **Optimal maintenance intervals for safety relief valves.** Henrik Kortner Det Norske Veritas N-1322 Høvik, Norway.
- **Ministerio de Minas y Energía (Colombia).** [www.minminas.gov.co/](http://www.minminas.gov.co/).
- **Modelo weibull (SOFTWARE).** [www.weibull.com](http://www.weibull.com).
- **American Society of Mechanical Engineers (ASME), code.”** Unfired Pressure Vessels, Section VIII.
- **Procedimiento para mantenimiento de válvulas de seguridad y alivio.** Gerencia refinería de cartagena coordinación de confiabilidad. ECOPETROL S.A.
- **PARRY, C.F. relief systems handbook.** Rugby, England, Institution of Chemical Engineers, 1992.
- **Válvulas selección, uso y mantenimiento,** Richard W. Greene y Cuerpo de redactores de Chemical Engineering Magazine. CUCEI CID. McGraw-Hill.
- **Recommended Practice for the Design and Installation Of Pressure-Relieving Systems in Refineries,** Part 1-Design. API RP 520. 3rd ed., American Petroleum Institute, New York, 1967.
- **Guide for Pressure Relief and Depressuring Systems,** API RP 521, 1st ed., American Petroleum Institute, New York, 1969.
- **Flanged Steel Safety Relief Valves for Use In Petroleum Refining,** API RP 526, American Petroleum Institute. New York, 1963.