

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**PROPUESTA DE MEJORA EN PLAN DE MANTENIMIENTO A VÁLVULAS DE
SEGURIDAD, DIVISIÓN MECÁNICA DE ENAP – REFINERÍA BÍO BÍO.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de: Ingeniero de Ejecución en
Mecánica de Procesos y Mantenimiento
Industrial.

Alumno:

Sebastian Humberto Monsalves Morales.

Profesor Guía:

Marcelo Quiroz Neira

“Dedicado a la persona que me compartió su pasión por la Mecánica, quien me inspiró a ser un gran profesional, pero mejor persona, quien me enseñó a mirar la vida de una manera diferente, valorar lo realmente importante y disfrutar cada día como si fuera el último.

Gracias por tu amor incondicional y por nunca dejar de creer.

Un gran abrazo al cielo, Humberto Monsalves Obreque”.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, quien ha estado presente en cada momento de mi vida, quien me da la fuerza y motivación para lograr mis objetivos sin importar la distancia ni los obstáculos, quien ilumina mi camino en cada paso que doy, quien me da el valor de defender lo correcto y por no dejarme cuando todo parece derrumbarse.

Gracias Señor por todas las puertas que has abierto en este camino y también por las que cerraste para protegerme.

Agradecer a mis padres, Marisol Teodosia y Oscar Hugo, quienes juntos, como padres jóvenes me dieron la vida, me entregaron una crianza llena de ilusiones, de amor y los valores y principios que hoy definen mi persona. Por darme un hogar donde pude desarrollarme y crecer, por otorgarme la mejor educación posible y por extremar los recursos necesarios para que nada me faltara.

Agradecerles por enseñarme el significado del esfuerzo y sacrificio, el cual me demostraron día a día durante mi niñez, dejando de lado sus necesidades, su descanso y su desarrollo por entregarnos todo lo que estaba a su alcance a mí y a mis hermanas.

A Valeria, mi compañera, mi novia, quien hace más de ocho años llegó a mi vida y me regaló su inmenso y sincero amor sin pedirme nada a cambio, quien me incentiva y me motiva día a día a luchar y cumplir mis metas sin bajar los brazos. Gracias por acompañarme en cada paso que doy, por alegrar y llenar mis días de felicidad, por creer y confiar en mí por sobre todas las cosas y por nunca soltar mi mano. Gracias por ser tú.

A mis amigos, mis hermanos de vida, quienes siempre me han entregado su apoyo incondicional y amor sincero, por escucharme y aconsejarme en los momentos difíciles, por alegrarse de mis logros y por demostrarme que a pesar del tiempo y los años siempre estarán presentes en mi vida.

Finalmente quiero agradecer a mi Universidad, mi alma mater, quienes me abrieron las puertas y me recibieron en un difícil momento de mi vida, me devolvieron la motivación y la alegría gracias a la vocación y trabajo de sus docentes y funcionarios. Gracias por estos cinco años de enseñanza y aprendizaje, por todas aquellas maravillosas personas que componen esta gran institución y que fueron parte importante de este proceso. Gracias mi querida Universidad Técnica Federico Santa María.

Resumen Ejecutivo

Mediante la presente memoria se abordará la problemática existente en el actual procedimiento de mantenimiento para válvulas de seguridad, de la División Mecánica, ENAP Refinería Bío - Bío.

Un plan de mantenimiento busca mantener en óptimas condiciones los equipos y máquinas de un proceso productivo, es por ello que se presenta la propuesta de mejora al actual plan de mantenimiento bajo la metodología RCA y el análisis FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), el cual busca aumentar la disponibilidad y vida útil de todas aquellas válvulas de seguridad presentes en la refinería Bío Bío, que han sido inspeccionadas e intervenidas por la División Mecánica, pero que presentan carencias a la falta de orden en su historial de mantenimiento junto con la poca información escrita del comisionamiento de estas, por lo que se produce un desconocimiento de todas aquellas válvulas que a lo largo de su funcionamiento han presentado desperfectos.

Para el desarrollo de esta propuesta, fue necesario un levantamiento de información de los registros y antecedentes disponibles en la División Mecánica, con la finalidad de generar una base de datos más actualizada y con la situación actual de cada una de ellas.

Los registros utilizados más significativos fueron el consolidado de PSV's, el cual almacena la mayoría de los ensayos a válvulas a partir del año 1966, existentes dentro del origen de la refinería (donde se presentan los datos de cada válvula al momento previo y posterior de su ensayo, fallas, entre otros), junto con las órdenes de trabajo (OT), la experiencia del personal y los procedimientos actuales para el mantenimiento de ellas.

Mediante el análisis de datos presentados, se procedió a la selección de todas aquellas válvulas que presentaron en su ensayo de recepción, una sobre-presión de apertura del 30%, 50% y 150% desde el año 2015 en adelante, con el fin de identificar aquellas válvulas que arrojaron estar fuera de rango, investigando exhaustivamente cada uno de los casos de intervenciones anteriores para generar posteriormente un estado de criticidad en aquellas válvulas a modo de alto potencial para ocasionar fallas, poniendo en peligro la integridad de trabajadores, equipos, tiempos de producción y daños al medio ambiente.

Como resultado del análisis, se asignaron actividades preventivas y correctivas dentro de la propuesta de mantenimiento para PSV's esto con el fin de disminuir la probabilidad de fallas, generar una alerta de aquellos dispositivos críticos y mejorar la periodicidad de mantenimiento en aquellas válvulas con más alto riesgo de fallas.

Índice

Introducción	13
1. Capítulo I: Objetivo General y Objetivo Especifico	14
1.2 Objetivo General	15
1.3 Objetivos Específicos.....	15
2 Capítulo II: Antecedentes Generales.....	16
2.2 ENAP Refinería Bío Bío	17
2.3 Misión.....	18
2.4 Visión.....	18
2.5 Infraestructura	18
2.6 Plan Estratégico de ENAP	20
2.7 Departamento de Mantenición de ENAP Refinería Bio Bio	21
2.7.1 Misión.....	21
2.7.2 Visión	21
2.7.3 Políticas	21
2.7.4 Estructura Organizacional	22
2.8 CICLO DE GESTION DE MANTENIMIENTO	24
2.9 Descripción General del Ciclo de Mantenición	25
2.9.1 Gestión avisos de Mantenición	25
2.9.2 Los avisos SAP se clasifican como sigue:	25
2.9.3 Gestión de Órdenes de Trabajo de mantención	26
2.9.4 Planificación	26
2.9.5 Programación	27
2.9.6 Gestión de Reprogramación de Ordenes de Trabajo.....	27
2.9.7 Ejecución del trabajo de mantenimiento.....	27
2.9.8 Notificación y cierre técnico de la Orden de Trabajo.....	27
2.9.9 Análisis de Datos	28
2.9.10 Acciones de Mejoramiento	29
2.10 Mantenimiento de Válvulas.	30
3 Capítulo III: Planteamiento del Problema	31
3.1 Planteamiento del Problema.	32
3.2 Motivación o Justificación.....	33

4	Capítulo IV: Marco Teórico.....	34
4.1	Válvulas de Seguridad	35
4.2	¿Qué es una Válvula de Seguridad?	36
4.3	Tipos de válvulas	36
4.3.1	Válvulas de Alivio.....	36
4.3.2	Válvulas de seguridad.....	36
4.4	Funcionamiento de una Válvula de Seguridad.....	36
4.5	Características Constructivas	37
4.6	Características Técnicas de PSV's, Según NTP 342.....	38
4.6.1	Definiciones.....	38
4.7	Terminología según NTP 510	38
4.8	Tipos de Válvulas de Seguridad.....	39
4.8.1	Tipos de Válvulas de Seguridad según su accionamiento	41
4.8.1.2	Válvula de seguridad de acción o presión directa.....	41
4.8.2	Válvulas de seguridad accionadas por válvula piloto o de acción indirecta	45
4.8.3	Válvulas de seguridad equilibradas	49
4.9	Tipos de Mantenimiento.....	53
4.9.1	Mantenimiento Preventivo:.....	54
4.9.2	Mantenimiento Correctivo:.....	54
4.10	Procedimiento de Mantención a Válvulas de Seguridad en División Mecánica	55
4.10.1	Objetivo.....	55
4.10.2	Alcance	55
4.10.3	Responsabilidad	55
4.10.4	TERMINOLOGÍA.....	56
4.10.5	Definiciones.....	56
4.10.6	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	57
4.10.7	ACTIVIDADES	58
4.11	Metodología RCM	63
4.12	Análisis FMECA.....	63
4.12.1	Objetivo.....	63
4.12.2	Análisis de criticidad.....	63
5	Capítulo V: Diseño de Solución	64
5.1	Metodología	65
5.1.1	Etapas de diagnóstico:	65

5.1.2	Identificación del Problema:	65
5.2	Historial de Ensayos y Consolidado en ENAP – Refinería Bio Bio	65
5.2.1	Objetivo	66
5.2.2	Consolidado Sobre-Presión de PSV’s 2015 a la fecha.	66
5.2.3	Resultados del Análisis histórico	68
5.2.4	Resultados Finales a Histórico de Ensayos	74
5.3	Análisis de datos.....	75
5.3.1	Resumen de válvulas inspeccionadas, agrupadas por plantas	76
5.4	Análisis de criticidad a líneas de activos.	77
5.4.1	Frecuencia con la que se presenta un evento indeseado	77
5.4.2	Impacto de las consecuencias para la determinación de la criticidad	78
5.4.3	Resultado Análisis de Criticidad a plantas ERBB	79
5.5	Fallas técnicas y análisis FMECA.....	80
5.5.1	Tabla Modo de Fallas en Válvulas de Seguridad	80
5.5.2	ISHIKAWA	81
5.5.3	Análisis de Pareto Modos de Falla PSV.	82
5.5.4	Análisis de criticidad de las consecuencias FMECA.....	88
5.5.5	Diagrama de Pareto de la criticidad de los modos de falla	89
5.6	Procedimiento de Mantenimiento.....	90
5.6.1	Frecuencia de Inspecciones.....	91
5.6.3	Proceso de Postergación de la Inspección.	96
5.6.4	Propuesta de registro para mantenimiento de dispositivos de alivio	98
5.6.5	Implementación de la propuesta a los procedimientos	99
6	Capítulo VI: Evaluación Económica	101
6.1	Tabla de costos de mantención a PSV’s.....	102
6.2	Tabla de Costos Stock Idóneo de Repuestos.....	104
6.3	Costo de implementación para el plan de mantenimiento propuesto.....	105
6.4	Costos Asociados a Pérdidas de Producción	107
6.5	Beneficio Económico	108
7	Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	109
7.1	Conclusión y Recomendación	110
	Bibliografía	112
	Linkografía.....	113
	Anexos.....	114

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Mapa de procesos ENAP - Refinería Bio Bio	20
Ilustración 2. Estructura organizacional Departamento de Mantenimiento.....	22
Ilustración 3. Ciclo del mantenimiento.....	24
Ilustración 4. Esquema de componentes de una PSV.....	42
Ilustración 5. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas de seguridad convencionales o no compensadas	43
Ilustración 6. Válvula de Seguridad accionada por piloto (American Petroleum Institute). 46	
Ilustración 7. Válvula de Seguridad asistida por piloto.....	48
Ilustración 8. Válvula de Seguridad equilibrada de fuelle (Imperial Chemical Industries). 50	
Ilustración 9. Válvula de Seguridad equilibrada de Pistón (Crosby Valve & Eng. CO.).....	51
Ilustración 10. Efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo para válvulas de seguridad compensadas.	52
Ilustración 11. Válvula de seguridad compensada de fuelle con pistón auxiliar (Imperial Chemical Industries).....	53
Ilustración 12. Tipos de Mantenimiento.....	54
Ilustración 13. Diagrama de flujo - Actividades de mantenimiento para Válvulas de Seguridad.....	58
Ilustración 14. Tiempo de Detención V/S Tiempo de Reparación.....	78
Ilustración 15. Matriz de Criticidad.....	79
Ilustración 16. Tabla de Criticidad Plantas.....	80
Ilustración 17. Diagrama de Ishikawa Modos de Falla PSV.....	81
Ilustración 18. Modos de Aumento a Intervalos de Inspección.	94

Índice de Tablas

Tabla 1. Esquema de plantas e instalaciones.....	19
Tabla 2. Responsabilidades División Mecánica.....	56
Tabla 3. Tabla General de Sobre-Presiones PSV´s	68
Tabla 4. Tabla General de Sobre-Presiones 30%	70
Tabla 5. Tabla de Sobre-Presiones 30%, 2015 a la fecha.....	71
Tabla 6. Tabla General, sobre-presiones 50% y 150%.....	73
Tabla 7. Tabla de Sobre-Presiones 50% y 150%, 2015 a la fecha.	73
Tabla 8. Resumen Válvulas Por Planta.	77
Tabla 9. Frecuencia a Modos de Falla.....	77
Tabla 10. Impacto de Consecuencias.	78
Tabla 11. Modo de Falla de Válvulas en Servicio.....	81
Tabla 12. Modo de Falla - Cuerpo de válvula.	82
Tabla 13. Modo de Falla - Resorte de válvula.....	83
Tabla 14. Modo de Falla - Asiento de válvula.	84
Tabla 15. Modo de Falla - Vástago de válvula.....	85
Tabla 16. Modo de Falla - Tornillo de Ajuste de válvula.....	86
Tabla 17. Modo de Falla - Disco de Cierre de válvula.....	87
Tabla 18. Criticidad por Modos de Falla PSV.	88
Tabla 19. RPN Modos de Falla PSV	89
Tabla 20. Aumento de Intervalos de Inspección.	95
Tabla 21. Reducción de Intervalos de Inspección.	96
Tabla 22. Propuesta de Registro Para Mantenimiento de PSV	98
Tabla 23. Tabla de Costos de Mantención PSV´s	103
Tabla 24. Cotización Curso y Capacitación a Mantención PSV´s.	106
Tabla 25. Producción diaria de combustibles.....	107
Tabla 26. Costos Asociados a Producción	107

Índice de Gráficos

Grafico 1. Sobre-Presiones 30%, 2015 a la fecha.	71
Grafico 2. Grafica de Sobre-Presiones 50% y 150%, 2015 a la fecha.	74
Grafico 3. Resumen Anual de Válvulas Sobre-Presión.....	75
Grafico 4. Gráfico de Pareto – Criticidad Modos de Falla.	90
Grafico 5. Costo de Mantenición a PSV´s Según Su Tamaño.	103
Grafico 6. Costos de Repuestos Para Stock.....	105

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas con venteo de sombrerete a la atmosfera.....	44
Ecuación 2. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas con venteo del sombrerete a la boca de descarga.	44
Ecuación 3. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas equilibradas o compensadas de fuelle.	49
Ecuación 4. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas equilibradas o compensadas de pistón	51

Sigla y Simbología

- ENAP: Empresa Nacional de Petróleo.
- DAO: Departamento de Almacenamiento y Oleoductos.
- PSV: Pressure Safety Valve (Válvula de Seguridad).
- IFO: Tipo de combustible marino.
- ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).
- DEI: División de Electricidad e Instrumentos.
- DM: División Mecánica.
- DEE: División de Equipos Estáticos.
- DMOT: División Mantenimiento de Oleoductos y Terminales.
- DPM: División Planificación de Mantenimiento.
- DIM: División Ingeniería de Mantenimiento.
- DSM: División Servicios de Mantenimiento.
- SAP: “Systeme Anwendungen und Produkte in der datenverarbeitung” (alemán);
Sistemas, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de datos.
- OT: Orden de Trabajo.
- ERBB: ENAP Refinería Bio Bio
- RCA: Resoluciones de Calificación Ambiental.
- RR.HH: Recursos Humanos.
- ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).
- API: American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).
- CERAP: Código Español de Recipientes A Presión.
- JDM: Jefe División Mecánica.
- SM: Supervisor de Maestranza.
- IM: Ingeniero de Mantenimiento.
- PDM: Personal de División Mecánica.
- EECC: Empresas Contratistas.

- R: Responsable final de la actividad.
- RD: Responsable de la División o área.
- C: Colaborador en actividad.
- E: Ejecutante.
- I: Toma conocimiento para su información coordinación y toma de decisiones.
- CDTP: Cold Differential Test Pressure (Presión de Calibración en Frio).
- EEMUA: Engineering Equipment and Materials Users Association (Asociación de Usuarios de Equipos y Materiales de Ingeniería).
- TAG: Identificación del Equipo.
- FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)

Introducción

El presente proyecto tuvo como objetivo proponer un Modelo de Planificación para el Mantenimiento Preventivo de Válvulas de Seguridad (PSV's) en ENAP Refinería Bío Bío, con el fin de mejorar la determinación de las operaciones preventivas que aseguren una mayor disponibilidad, confiabilidad y seguridad de las Unidades de Producción. Para cumplir con ello, el trabajo contempló el estudio de la situación actual de la Planificación del Mantenimiento Preventivo en la División Mecánica, el diseño de una nueva propuesta de mantenimiento a válvulas de seguridad a lo largo de la planta, en base a los resultados arrojados por el diagnóstico y el análisis de los requerimientos operacionales y técnicos para implementarla.

Las válvulas de seguridad protegen a los elementos que trabajan con presión interna, como recipientes a presión, estanques, y tuberías, evacuando el fluido de trabajo hacia el exterior del elemento, para de esta manera disminuir la presión y evitar que esta exceda la presión máxima admisible del elemento protegido.

En base a dicha definición y bajo este escenario, la presente memoria aborda el Mantenimiento Preventivo a válvulas de seguridad con el objetivo de potenciar su función dentro del Departamento de Mantención, específicamente la División Mecánica, como el principal servicio que defina, a través de su naturaleza planificada, las eficientes mantenciones a dichos elementos de seguridad y a la postre, permita que ENAP Refinería Bio Bio genere beneficios asociados a la continuidad y la calidad de la producción y al cumplimiento de los principios ligados a su responsabilidad social empresarial.

1. Capítulo I: Objetivo General y Objetivo Especifico

1.2 Objetivo General

Proponer un Modelo de Planificación para el Mantenimiento Preventivo de Válvulas de Seguridad en ENAP Refinería Bío Bío, con el fin de mejorar la determinación de las operaciones preventivas que aseguren una mayor disponibilidad, confiabilidad y seguridad de las Unidades de Producción y evitar incidentes no previstos en válvulas críticas por falta de una correcta mantención.

1.3 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual de la planificación del Mantenimiento Preventivo en Válvulas de Seguridad, identificando los antecedentes e historial sobre los cuales es posible proponer acciones de mejoras.
- Diseñar lineamientos, planes de acción e indicadores de gestión asociados al Mantenimiento Preventivo en PSV's, alineados a la Estrategia de ENAP Refinería Bio Bio y la División Mecánica.
- Realizar un análisis de costos asociados para implementar la propuesta, versus los costos por pérdida de producción, para el beneficio económico.

2 Capitulo II: Antecedentes Generales

2.2 ENAP Refinería Bío Bío

ENAP Refinerías S.A. es una de las filiales de la Empresa Nacional del Petróleo, perteneciente a la Línea de Negocios de Refinación y Comercialización. Su giro es la refinación y comercialización de hidrocarburos y sus derivados a través del desarrollo de las actividades productivas y de coordinación de la infraestructura logística.

Fue fundada en el año 2004 y se conforma por las Refinerías Aconcagua, Bio Bio y Gregorio, el Departamento de Almacenamiento y Oleoducto (DAO), los activos de refinación en Magallanes y la filial Manu. Su capacidad de destilación es de 220 mil barriles por día, abasteciendo más del 80 por ciento de la necesidad de combustibles en Chile y exportando parte de su producción a Perú, Ecuador y Centroamérica.

ENAP Refinería Bío Bío es una de las refinerías de petróleo de la filial ENAP Refinerías. Ubicada en la comuna de Hualpén, se encuentra en operaciones desde el 29 de Julio de 1966 y posee una capacidad de procesamiento de crudo de 18 mil metros cúbicos diarios, que le permiten satisfacer las demandas de combustible de Chile y el extranjero. Como parte del grupo de empresas de ENAP, ENAP Refinería Bío Bío asume y hace propia la Misión, Visión y Plan Estratégico de ENAP.

Los principales productos elaborados por ENAP Refinerías se clasifican en tres categorías:

Combustibles: Gas licuado (Propano y Butano), Gasolinas (93 y 97 octanos y de Aviación 100/130), Kerosenes (Doméstico y de Aviación JET A1), Petróleos Diésel (Grado A, B, Antártico y Marino), Petróleos Combustibles (Fuel Oil N°6, Combustible Marino IFO 380, Combustible Marino IFO 180) y Coque de Petróleo.

Petroquímicos: Etileno y Propileno.

Especiales: Solventes (Aguarrás, Xileno, Gasolina Blanca, Solvente para Minería y bases para asfaltos (Impermeabilizantes y Cemento Asfáltico)

Como parte del grupo de empresas de ENAP, ENAP Refinería Bío Bío asume y hace propia la Misión, Visión y Plan Estratégico de ENAP.

2.3 Misión

“Empresa de energía, 100% del Estado de Chile, líder en hidrocarburos, integrada, que provee productos y servicios que satisfagan las necesidades de los clientes y contribuyan al desarrollo sustentable de los países y de las comunidades en que está inserta, operando en forma competitiva y rentable”.

2.4 Visión

“Cumplir la misión alcanzando las siguientes aspiraciones:

- Contar con la preferencia de los clientes a precios competitivos.
- Liderazgo como operador logístico/comercial.
- Asegurar un abastecimiento competitivo integrándose y a través de alianzas, aun cuando esta producción no llegue físicamente a las refinerías.
- Participar rentablemente en todos los eslabones de la cadena, minimizando riesgos.
- Operando con niveles de eficiencia y confiabilidad, competitivos en todos los procesos de negocio y de apoyo.

- Reemplazando y creciendo en reservas.
- Siendo reconocido como empresa líder en desarrollo sustentable.
- Contando con un equipo competente, colaborativo y comprometido”

2.5 Infraestructura

Como muestra la Tabla N°1.1, la infraestructura de ENAP Refinería Bío Bío está compuesta por plantas para la refinación del crudo y procesamiento de cargas complementarias, plantas de tratamiento, infraestructura de almacenamiento y oleoductos, además de instalaciones de seguridad y aseguramiento de calidad.

Plantas para la refinación del crudo y procesamiento de cargas complementarias
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Topping y Vacío I y II ▪ Visbreaking ▪ Cracking Catalítico ▪ Reformación Catalítica Continua ▪ Etileno ▪ Hidrotratamiento de Diesel I y II ▪ Hidrocracking ▪ Saturación de Benceno ▪ Isomerización ▪ Separadora y Purificadora de Propileno ▪ Planta de Hidrógeno ▪ Coquización Retardada (Coker) e Hidrotratamiento de Diesel ▪ Planta de Hidrógeno Biobío ▪ Planta de Hidrocracking Suave de gas oil
Plantas de tratamiento
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planta de tratamiento Merox de kerosene ▪ Planta de tratamiento de gasolina y gas licuado ▪ Planta de tratamiento de Sulfhidrato de Sodio ▪ Planta Recuperadora de Azufre ▪ Planta de tratamiento de Gases ▪ Planta de tratamiento de Aguas Ácidas ▪ Planta de tratamiento de Aguas Aceitosas ▪ Planta Desulfurizadora de Diesel ▪ Planta de Suministros de agua de refrigeración, vapor y energía eléctrica
Infraestructura de Almacenamiento y Oleoductos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estanques para almacenamiento de petróleo crudo, productos intermedios y finales ▪ Oleoductos y entre la refinería y el Terminal Marítimo San Vicente para el transporte de petróleo crudo y productos terminados ▪ Oleoductos para productos terminados, desde la refinería hasta la ciudad de San Fernando ▪ Estaciones de bombeo en la refinería, Chillán y Molina ▪ Piping interno desde las zonas de estanques a las plantas procesadoras. ▪ Piping interno desde plantas procesadoras a estanques de productos intermedios y finales ▪ Gasoducto para la recepción y entrega de gas licuado ▪ Motobombas para el envío de productos desde la refinería a San Fernando y San Vicente ▪ Motobombas en San Vicente para la recepción y embarcación de crudos y productos.
Instalaciones de seguridad y aseguramiento de calidad
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laboratorio químico ▪ Instalaciones y cuartel para la Brigada de Respuesta a Emergencias ▪ Talleres de mantenimiento especializados ▪ Equipos eléctricos de emergencia que funcionan con diesel y gas natural ▪ Sistema de interconexión de gas natural, combustible en calderas y hornos

Tabla 1. Esquema de plantas e instalaciones

Fuente: ENAP – Refinería Bío Bío

2.6 Plan Estratégico de ENAP

El Plan Estratégico de ENAP Refinería Bío Bío consta de cuatro pilares que soportan la gestión de la organización: Liderazgo frente al Cliente, Crecimiento Integrado, Desarrollo Sustentable y Seguridad, Productividad y Competitividad.

Para dar cumplimiento a dicho plan, ENAP Refinería Bio Bio incorpora una postura de mejoramiento continuo a través de los sistemas, las personas y los procedimientos. De este modo, se encuentra certificada bajo la Norma ISO 9001 “Requisitos para un sistema de gestión de la calidad”, desde el año 2001, adoptando una Gestión de Procesos. Como muestra la siguiente ilustración, dichos procesos se clasifican en Procesos Principales, Procesos de Apoyo Local y Procesos de Apoyo Corporativo.

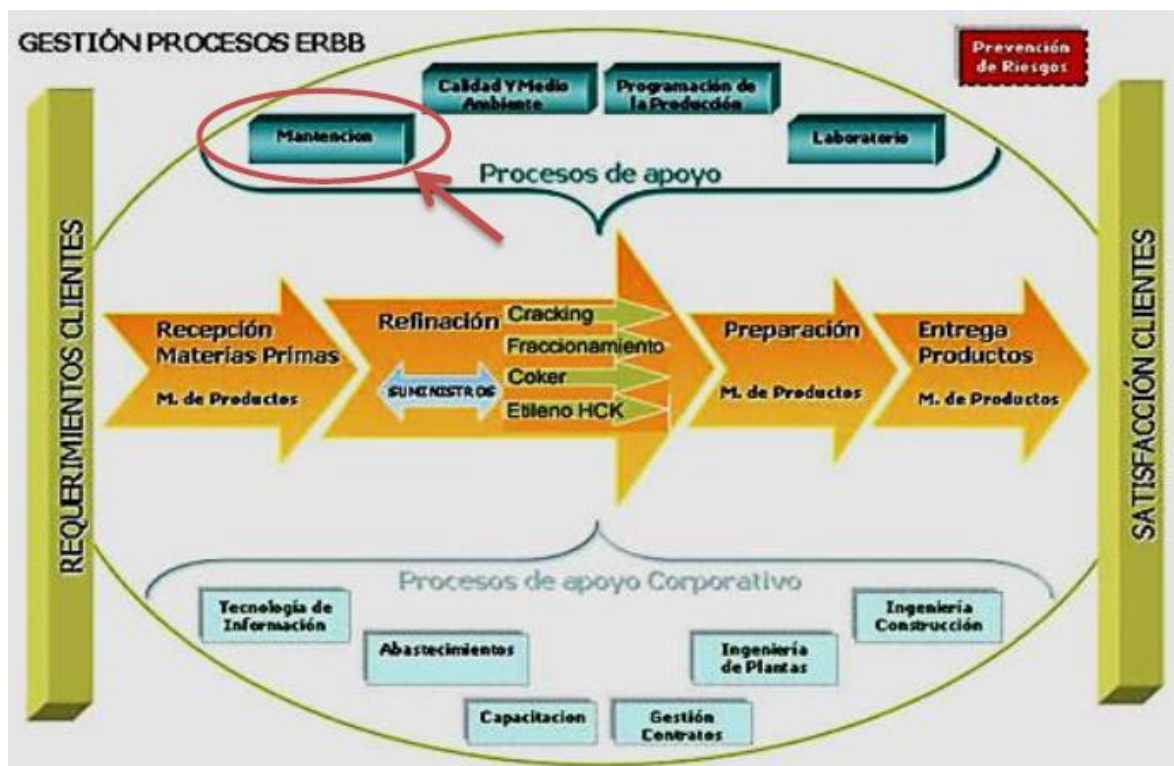


Ilustración 1. Mapa de procesos ENAP - Refinería Bío Bío

Fuente: Manual de Calidad ENAP – Refinería Bío Bío

Como se indica, Mantenimiento es un Proceso de Apoyo Local para el funcionamiento de ENAP Refinería Bío Bío, el cual incide directamente en la disponibilidad, la confiabilidad y la seguridad de las Unidades de Producción, en la seguridad del medio ambiente y de las personas. Es necesario para el control y la mejora del sistema de gestión y proporciona estabilidad a los Procesos Principales. Esto evidencia su relevancia dentro de la organización y en consecuencia, la importancia de generar propuestas que permitan potenciar sus actuales actividades y/o generar otras nuevas con miras a su mejoramiento continuo.

2.7 Departamento de Mantenimiento de ENAP Refinería Bio Bio

El Departamento de Mantenimiento es una unidad compuesta de 131 colaboradores internos, dependiente de la Gerencia General del ENAP Refinería Bio Bio.

2.7.1 Misión

“Maximizar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los activos productivos de ENAP, asegurando la continuidad de la producción, de acuerdo a la demanda requerida por el negocio, utilizando con eficiencia y calidad los recursos, adoptando las mejores prácticas de la industria, cuidando la protección de las personas y el medio ambiente; asegurando así la competitividad de la empresa en el tiempo”.

2.7.2 Visión

“Enfrentar los desafíos, con una estrategia moderna, competitiva e integrada a todos los procesos del negocio, agregando valor a cada una de nuestras actividades, aplicando las mejores prácticas de la industria, para hacer de ENAP, una empresa líder, de excelencia, rentable y sustentable en el tiempo”.

2.7.3 Políticas

- Énfasis en la planificación de la gestión técnico - económica.
- Énfasis en la preservación de las funciones de los activos físicos.
- Prioridad a la estandarización de equipos.
- Énfasis en la integración participativa con todas las áreas de la empresa.
- Producción y Mantenimiento, son un equipo de trabajo.
- Gestión integrada a las políticas de Abastecimiento.
- SAP es el soporte informático de la gestión.

- Benchmarking interno con indicadores comunes (R&L / E&P).
- Todo trabajo debe tener asociado un procedimiento.

2.7.4 Estructura Organizacional

Como se muestra en la siguiente ilustración, el Departamento de Mantenimiento se encuentran dirigido por el Jefe del Departamento y se compone de cuatro Divisiones Operativas, tres Divisiones Staff y un Director de Proyectos, encargado de gestionar y dirigir los proyectos solicitados al Departamento. A su vez, cada División es encabezada por un Jefe de División y un equipo de ingenieros, supervisores y técnicos de mantenimiento.



Ilustración 2. Estructura organizacional Departamento de Mantenimiento.

Fuente: ENAP Refinería Bío Bío, Procedimiento General de Mantenimiento

2.7.4.1 División Electricidad e Instrumentos (DEI):

Su labor es ejecutar los servicios de mantenimiento que involucran trabajos eléctricos, electrónicos e instrumentales.

2.7.4.2 División Mecánica (DM):

Su labor es ejecutar los servicios de mantenimiento que involucran trabajos en equipos mecánicos rotatorios, vale decir, válvulas de seguridad, turbinas, compresores, bombas, aeroventiladores y la dirección de recursos de maestranza para los sistemas mecánicos.

Es en esta división donde se enfoca más directamente el desarrollo de la propuesta de mejora en el plan de mantenimiento de válvulas de seguridad.

2.7.4.3 División Equipos Estáticos (DEE):

Su labor es ejecutar los servicios de mantención que involucran trabajos en equipos mecánicos no rotatorios, vale decir, hornos, torres, piping, intercambiadores, válvulas de corte, además de trabajos de aislación térmica y pintura.

2.7.4.4 División Mantención Oleoductos y Terminales (DMOT):

Su labor es ejecutar los servicios de mantención que involucran trabajos en equipos mecánicos no rotatorios que se encuentren dentro de las familias de oleoductos, estanques, líneas submarinas y terminales.

2.7.4.5 División Planificación de Mantención (DPM):

Su labor es proporcionar el soporte técnico y administrativo para el diseño de estrategias y planes que puedan ser ejecutados por las Divisiones Operativas del Departamento de Mantención.

2.7.4.6 División Ingeniería de Mantención (DIM):

Su labor es entregar el soporte técnico y ejecutar los servicios de mantención que involucran trabajos de inspección y predicción de fallas en base al monitoreo de equipos rotatorios y estáticos, análisis de fallas e ingeniería de confiabilidad.

2.7.4.7 División Servicios de Mantención (DSM):

Su labor es gestionar los servicios de mantención contratados a terceros. En este sentido sus funciones involucran la gestión de contratos, el apoyo en el control de estándares de prevención de riesgos a empresas contratistas, evaluaciones técnicas y gestión de contingencias.

2.8 CICLO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

El ciclo de gestión de mantenimiento de ENAP Refinería Biobío consta de actividades planificadas, programadas y controladas en forma sistemática que tiene como fin garantizar y mantener las unidades de proceso y sus equipos a un bajo costo y con una alta calidad.

La gestión integral de mantenimiento se basa principalmente en gestionar las ubicaciones técnicas asociadas a producción y sus activos físicos (equipos) que las compongan, planificando, programando, ejecutando y controlando sus actividades, tanto en sus tareas periódicas como las de proyectos e iniciativas (ejemplo: Paros de planta). De este ciclo se desprenden las siguientes etapas:

- a) Gestión de Avisos de mantención.
- b) Gestión de Ordenes de trabajo.
- c) Planificación de Mantención.
- d) Programación de mantención.
- e) Ejecución de Mantención.
- f) Notificación de los trabajos de mantención.
- g) Análisis de Datos.
- h) Mejoras.

Este ciclo se puede ver resumido y graficado en la figura siguiente:



Ilustración 3. Ciclo del mantenimiento.

Fuente: ENAP Refinería Bío Bío, Procedimiento Gestión de Mantención

2.9 Descripción General del Ciclo de Mantenición

2.9.1 Gestión avisos de Mantenición

Un aviso de mantenimiento (PM) es un tipo de documento SAP que permite registrar fallas, solicitudes de mantenimiento o actividades sobre un objeto de mantención (equipos). Para llevar a cabo el registro de información, cuenta con catálogos que permiten identificar las partes dañadas, sus síntomas, las causas y las medidas a realizar. Un aviso es un documento predecesor de una orden de trabajo. Los avisos de mantención son generados por una necesidad de realizar actividades de mantenimiento y pueden ser provenientes de:

- a) Un plan preventivo.
- b) Una necesidad de mantenimiento planeado.
- c) Monitoreo de condiciones (Mantenimiento Predictivo).
- d) Mantenimiento correctivo, proveniente de una urgencia o emergencia (falla del equipo).
- e) Solicitudes de operaciones (aprobadas por el Supervisor de operaciones).

Esta gestión es realizada a través del sistema SAP-PM y los avisos pueden ser generados por personal de mantenimiento, de operaciones, etc.

Existen tres tipos de categorización de prioridades de avisos, los de emergencia, los urgentes y los programables.

2.9.2 Los avisos SAP se clasifican como sigue:

- Solicitud de mantenimiento “G1”: Se utiliza cuando existe la necesidad de realizar mantenimiento sobre un objeto de mantención (equipo), que puede ser generado como un requerimiento de una evaluación, pero que no implica que el objeto este averiado.
- Aviso de Avería “G2”: Indica la necesidad de realizar mantenimiento sobre un objeto de mantención (equipo) que presenta una falla o se encuentra detenido (avariado).
- Aviso de Actividad “G3”: Aviso que permite documentar una actividad de mantenimiento ya ejecutado, documentando qué actividades se han llevado a cabo, cuándo, por qué y con qué resultado, a diferencia de las dos anteriores, esta no genera una orden de trabajo.

Los avisos generados por Operaciones deben ser aprobados por el Supervisor de Operaciones con el objetivo de verificar la prioridad y que cuente con la información mínima exigida.

2.9.3 Gestión de Órdenes de Trabajo de mantención

Una vez aprobado el aviso de mantención en SAP, sigue el paso de generar la orden de trabajo SAP (OT), esta podrá ser categorizada como:

- a) Orden de trabajo otros
- b) Orden de trabajo preventiva
- c) Orden de trabajo reactiva
- d) Orden de trabajo recuperación de repuestos

En el proceso de generación de la OT, se deben asignar los puestos de trabajo responsables para la ejecución. Una vez generado este puesto de trabajo se deberá verificar si la orden requiere de materiales y repuestos.

2.9.4 Planificación

Formulación de las etapas del trabajo con su respectivo análisis de riesgo, incluyendo definición de competencias, materiales, herramientas y tiempos asociados.

Existen diversas clasificaciones de planificación, dependiendo del plazo, tipo y oportunidad, en Refinería Bío Bío se tienen las siguientes:

a) Planificación Quinquenal:

Esta planificación está basada principalmente en inspecciones planeadas y ejecutadas con el fin de determinar la necesidad de mantenimiento. Estas pueden ser generadas por Departamento de Mantención y/o Departamento de Operaciones, con el fin de planificar la mantención definida como Paro de Planta, orientada a generar planes y órdenes de trabajo.

Una vez revisado y ajustado estos planes quinquenales, se generan en sistema de gestión SAP-PM y pasan a ser parte de los de proyectos e iniciativas de mantenimiento.

b) Planning de Mantenimiento:

Esta planificación está orientada a programar actividades de mantención en equipos que tiene por objetivo principal evitar detenciones o reducción de la producción por bajadas de carga en las unidades de proceso.

Principalmente actividades que se deben ejecutar en menos de 6 meses, basadas de los resultados de inspecciones planeadas y hallazgos y/o mediciones realizadas durante la operación. Esta planificación al igual que las anteriores, debe ser coordinada en conjunto con Programación de la Producción, teniendo en cuenta los planes definidos en Planificación Quinquenal.

c) Programación de Corto Plazo:

La Programación de corto plazo tiene como objetivo planificar las Ordenes de Trabajo generadas mediante Avisos o Planes Preventivos que se deben ejecutar a los activos de las unidades productivas de la refinería con un horizonte de inicio menor a un mes.

Este Programa se elabora en conjunto con los Integrantes de cada NAT con el fin de realizar una correcta priorización y se emite semanalmente a la organización.

2.9.5 Programación

Programación de tareas y/o trabajos planificados en una clasificación formal para su ejecución en el tiempo y acordada con el dueño de área (por ejemplo, Operaciones).

2.9.6 Gestión de Reprogramación de Ordenes de Trabajo

Antes de reprogramar un trabajo el planificador debe solicitar la aprobación en el NAT correspondiente o del creador del aviso. En caso de no llegar a acuerdo se debe escalar a la Jefatura correspondiente.

Las reprogramaciones deben ser registradas en SAP indicado el motivo de ésta.

2.9.7 Ejecución del trabajo de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento son ejecutadas en terreno sobre el o los equipos, asegurando que todas las medidas de control que apliquen sean realizadas, es decir: estándares de seguridad, inspección técnica, manejos del cambio aprobados y permisos de trabajo.

2.9.8 Notificación y cierre técnico de la Orden de Trabajo

Una vez ejecutada la intervención de mantenimiento en terreno, se debe proceder a la notificación de las operaciones de las órdenes de trabajo en SAP. Con esta acción se considera como ejecutado el trabajo y se procede al cierre técnico de la orden de trabajo.

2.9.9 Análisis de Datos

Se abordan las acciones identificadas del proceso de mejora continua. Las acciones pueden ser tareas discretas que fueron identificadas durante el trabajo que se ejecutó, una actualización de los procedimientos para maximizar la eficiencia de los procesos, o alguna herramienta de mayor análisis.

Además, se deben generar los reportes de gestión anual por división y evaluar los resultados, si es necesario, proponer nuevas iniciativas e indicadores que permitan visualizar y mejorar la gestión sobre los activos de refinería. Una vez propuestas estas iniciativas y definir cómo medirlas, serán evaluadas y aprobadas, ya sea para aplicarlas en la definición de proyectos e iniciativas de mantenimiento o bien, tomar acciones de mejoramiento al proceso de mantenimiento.

Las iniciativas en ERBB son:

1. Análisis de fallas: En primera instancia se debe levantar y procesar información técnica y de comportamiento histórico de los equipos, esta información se debe obtener desde la División de Ingeniería de Mantenimiento, y las distintas Divisiones operativas del Departamento de Mantenimiento, estas son:

- División Mecánica
- División Equipos Estáticos.
- División Electricidad e Instrumentos.
- División Mantenimiento Mayor de Plantas

Dentro de la información necesaria para esta actividad están:

- Datos históricos de las últimas mantenciones,
- Datos de fallas,
- Especificaciones técnicas,
- SAP, etc.

Una vez realizado lo anterior, se debe generar y realizar el análisis de falla, el cual puede generar recomendaciones que deberán gestionarse a través de la generación de avisos de mantenimiento, considerados como acciones de mejoramiento, recomendaciones productivas, u otras.

El informe de falla será emitido y enviado a todos los interesados y participantes

b) Informe de Malos Actores.

Identificar equipos físicos considerados como malos actores en refinería, esto es procesando datos obtenidos de los eventos de falla y reparaciones, con el fin de guiar acciones que permitan mitigar los efectos de estos eventos en el proceso productivo.

c) Informes RCA:

Identificar y eliminar la causa raíz de fallas en equipos que involucren pérdidas de producción y/o condiciones fuera de estándar de los procesos de planta y que al perder su función genera un impacto en el negocio, permitiendo desarrollar acciones correctivas que eviten que la falla se repita en ese equipo o en otros similares.

- Seguimiento, medición y Control.
- Informe de Gestión Mensual:

Este informe nace de la necesidad de realizar seguimiento, medición y control de distintos ítems de gestión en el Departamento de Mantenimiento, como, por ejemplo:

- Informe de sobretiempos de RRHH.
- Informes de costos.
- KPIs de Mantenimiento.
- Control de costos de contratos.
- Identificación de equipos críticos y malos actores.

Este informe es generado por la División Planificación de Mantenimiento y debe ser enviado previa revisión y aprobación del Jefe de Departamento de Mantenimiento a los interesados correspondientes.

- Reporte de disponibilidad PAG; Backlog, porcentaje de cumplimiento OT preventivas, etc.

2.9.10 Acciones de Mejoramiento

Las acciones de mejoramiento se generan producto de:

a) Gestión de auditorías realizadas.

- b) Seguros (póliza de seguros modificada), buenas prácticas.
- c) Análisis de falla.
- c) Análisis Causa Raíz.
- d) KPIs de gestión (Iniciativas y propuestas).

Posteriormente estas acciones de mejoramiento deberán ser evaluadas para definir su factibilidad de implementación, donde podrá ser o no factible. De ser factible, deberá ser seguida de acuerdo al tipo de mejora y definir si es canalizado a través de un plan de mitigación o de incitativas internas, una vez ejecutadas las acciones de mejoramiento, se definirán prioridades de indicadores de gestión.

2.10 Mantenimiento de Válvulas de Seguridad.

Las válvulas al igual que cualquier otro equipo requieren mantenimiento para entregar su función continuamente y extender su vida útil, es decir, aumentar su disponibilidad y confiabilidad. Sin embargo, este mantenimiento solo hace referencia a la válvula una vez instalada y puesta en marcha, olvidando por completo los daños que pueden generarse desde su manufactura hasta su instalación. Esta etapa es conocida como “comisionamiento”, que ha repercutido últimamente debido a la efectividad de ser considerada en dicha etapa.

Es por ello que es una causa probable que las válvulas puedan presentar fallas previas a su instalación, ya sea por distintas causas, como puede ser la falta de un programa de lubricación adecuado, mientras el dispositivo permanece almacenado, quedando expuesto desde polución, partículas, hasta corrosión producto del ambiente.

En la refinería Bio Bio, prácticamente se encuentra una nave que almacena solo válvulas nuevas, de las cuales se encuentran ahí en un tiempo de uno a diez años, por lo que muchas no se encuentran en óptimas condiciones para su instalación inmediata, dado lo mencionado anteriormente, lo que da como resultado un potencial de falla al momento de puesta en servicio.

3 Capítulo III: Planteamiento del Problema

3.1 Planteamiento del Problema.

El Departamento de Mantenimiento, más específicamente en la División Mecánica de ENAP Refinería Bío Bío, ha buscado establecer el Mantenimiento Preventivo a Válvulas de Seguridad, como el servicio constituido por un conjunto de acciones destinadas a adelantarse y/o corregir las fallas potenciales de estas, antes de que se conviertan en fallas funcionales que sean de alto riesgo para la seguridad de las personas, de las instalaciones, del medio ambiente y para la continuidad y la calidad de la producción de la Refinería.

Para ello, la División ha trabajado una metodología de planificación del Mantenimiento Preventivo que actualmente se utiliza, sin embargo, no logra cumplir con las expectativas de acorde a los actuales objetivos que la empresa presenta. En primer lugar, el Plan de Mantenimiento programado, ha sido concebido desde los orígenes de producción de la planta, donde se actúa sin considerar ni diferenciar el contexto operacional ni la jerarquía de los equipos que los conforman, provocando que sólo documenten acciones repetitivas cuyo impacto en la gestión interna de la División Mecánica y en la disponibilidad, la confiabilidad y la seguridad de las instalaciones de ENAP Refinería Bío Bío no sea positivamente significativo. En segundo lugar, el sistema de registro de pruebas y mantenimiento de Válvulas, se puede catalogar como paupérrimo, ya que no se tiene un correcto análisis de los resultados obtenidos a lo largo de su historial, no se genera una gran información con respecto al comisionamiento de ellas por lo que no se logra obtener un registro de criticidad ante la posibilidad de constante sobre presión que puedan presentar al momento del ensayo.

Motivado por lo anterior, a continuación, se presenta la propuesta de un Modelo para el Mantenimiento Preventivo de PSV's en ENAP Refinería Bío Bío, con el fin de mejorar la definición de las operaciones preventivas que aseguren una mayor disponibilidad, confiabilidad y seguridad de las Unidades de Producción. De este modo, se busca promover la mejora continua dentro del Departamento de Mantenimiento, impidiendo fallas internas y especialmente, el riesgo de aumentar los costos de calidad asociados a fallas, contribuyendo finalmente al beneficio y a la competitividad de ENAP Refinería Bío Bío.

3.2 Motivación o Justificación

El motivo que inclino a la elección del presente tema de proyecto de título, principalmente fue debido a la realización de la práctica profesional del alumno, en ENAP Refinería Bio Bio, más específicamente en la División Mecánica la cual es parte del área de mantenimiento de la refinería. Donde su labor, más específicamente es ejecutar los servicios de mantención que involucran trabajos de equipos mecánicos rotatorios, vale decir, turbinas, compresores, bombas, Aero ventiladores y la dirección de recursos de maestranza para los sistemas mecánicos. Es aquí donde se encuentra el Banco De Pruebas de Válvulas de Seguridad, el cual se encarga de generar ensayos preventivos para chequear el real estado de la válvula.

Las PSV's juegan un rol de gran importancia dentro de los procesos de refinería ya que se encargan de asegurar la presión indicada de fluidos, ya sea en diferentes tipos de estanques de almacenamiento o circuitos de flujo, puesto que por su diseño tiene la capacidad de aliviar el aumento repentino de presión interna del fluido, ya sea por diferentes tipos de condiciones, sobre todo si nos referimos a crudo de petróleo, el cual puede producir gases tóxicos y mortales (H_2S) para el ser humano.

Por otro lado, la falta de actualización del plan de mantenimiento a válvulas de seguridad por parte de Gestión de Mantenimiento de la División, genera gran interés como tema para realizar esta memoria, considerando la gran importancia de la ejecución que estos dispositivos realizan dentro del proceso, sin embargo, si bien existe un consolidado con el historial de las válvulas chequeadas desde el año 1986, este plan de mantenimiento presenta ciertas falencias al no tener una clasificación ni un análisis exhaustivo de las válvulas con historial crítico (Sobre-Presión), lo que no permite realizar una mejora en el mantenimiento de estas.

4 Capítulo IV: Marco Teórico

En el presente capítulo se presenta la teoría de conceptos básicos, funcionamiento, normativas y componentes de Válvulas de Seguridad, junto con el organigrama empresarial de ENAP - Refinería Bío Bío, y los procedimientos y tipos de mantenimientos presentes actualmente en el Departamento de Mantenimiento, con el fin de identificar herramientas de diagnóstico para la detección de oportunidades de mejora y un modelo que permita actualizar e integrar la Planificación del Mantenimiento Preventivo y las bases de las restantes funciones de la Administración: La Organización, la Dirección y el Control.

4.1 Válvulas de Seguridad

Con la revolución industrial y el auge del vapor como medio de generación de energía y movimiento, nace la necesidad de producir y contener dicho fluido para su uso, es así que se crean los recipientes y estanques a presión y almacenamiento de fluidos. Los primeros recipientes carecían de dispositivos de alivio de presión, razón por la cual eran los causantes de explosiones y gran cantidad de accidentes laborales.

actualmente, el diseño, manufacturación y manipulación de estos recipientes y estanques, están regulados por el código ASME, sección VIII.

Para ayudar a prevenir el riesgo de accidentes, es que se instalan en estos equipos válvulas de seguridad, que permitan por medio de la descarga del fluido contenido, aliviar el exceso de presión. Así, las válvulas de seguridad se convierten en un elemento clave de seguridad, utilizando ampliamente en la industria y exigido por el código ASME, sección VIII ug-125, por lo que es importante entender adecuadamente su funcionamiento y sus limitaciones.

Una válvula de seguridad convencional cumple su función en el momento que la presión del fluido vence la resistencia de los resortes que sellan la válvula, por este motivo se enfatiza en las características de operación de dichas válvulas, presión de apertura, presión de cierre y capacidad de relevo.

4.2 ¿Qué es una Válvula de Seguridad?

Es un dispositivo diseñado para aliviar el exceso de presión generada por un fluido contenido en un determinado recipiente. Cuando el sistema alcanza una presión por sobre la establecida como condición normal de operación, esta válvula es la encargada de abrir en forma automática para proteger el equipo o sistema donde se encuentra instalada. “API 576 2009 - 4.2”

4.3 Tipos de válvulas

- 4.3.1 **Válvulas de Alivio:** Son válvulas de alivio de presión que tienen un resorte cargado directamente, el cual permite abrir proporcionalmente en función de la sobrepresión. Las válvulas de alivio abren totalmente con una sobrepresión del 10 al 25%. “API 576 2009 – 4.4”. Se utilizan normalmente en fluidos no compresibles. “API 576 2009 -4.4.2”
- 4.3.2 **Válvulas de seguridad:** (En inglés: pressure safety valve o PSV) Dispositivo de alivio de presión que permite evacuar el caudal de fluido necesario de tal forma que no se sobrepase cierta presión límite al interior de un equipo (presión de calibración). Es un dispositivo de alivio de presión que se caracteriza por una apertura rápida o acción de disparo. “API 576 2009 – 4.3”

4.4 Funcionamiento de una Válvula de Seguridad

El mecanismo que permite la salida de fluido de trabajo consta de una boquilla, un disco de asiento, un eje guía y un resorte. El fluido de trabajo está en contacto con la boquilla y sale a través de esta cuando el mecanismo se abre, el disco de asiento impide el paso del fluido hacia el exterior manteniendo la presión normal de trabajo del elemento protegido, el resorte empuja al disco de asiento contra la boquilla y es el que soporta la presión de trabajo a manera de una fuerza. Cuando la presión de trabajo supera la presión de set de la válvula, se vence la resistencia del resorte, comprimiéndolo al mismo tiempo que se separa el disco de asiento de la boquilla, permitiendo el paso del fluido de trabajo.

4.5 Características Constructivas

Los materiales empleados en la construcción de las válvulas de seguridad deberán ser adecuados para la presión, temperatura y fenómenos de corrosión según el fluido que contenga el recipiente y para cualquier condición de operación. La presión nominal de la válvula de seguridad deberá ser superior al 110 por 100 de la presión máxima de servicio, ya que es la que se alcanzará en el interior del equipo, pero preventivamente sería conveniente que fuera, al menos, dos veces la presión máxima de servicio. La temperatura límite de trabajo de la válvula de seguridad debe de ser superior a la temperatura máxima de servicio del equipo protegido, es decir superior a aquella que se puede alcanzar en condiciones extremas de funcionamiento. Por ejemplo, para el caso de equipos que contienen líquidos con aporte energético, la temperatura límite de la válvula debe ser superior a la temperatura de saturación del líquido contenido al 110 por 100 de la presión de tarado de la válvula, puesto que es la que se alcanzaría en caso de fallo del mecanismo de corte del aporte energético.

En cuanto al diseño, las válvulas de seguridad deben de estar construidas de forma que la rotura de cualquier parte de ella no pueda obstruir la descarga libre y total del fluido a presión.

Las partes móviles, cierres y vástagos, deben de estar guiados de forma efectiva y se debería tener en cuenta el posible efecto de la expansión y contracción diferencial, así como la presencia de grasas y depósitos.

Cada válvula debería llevar incorporada de forma permanente la información necesaria para identificar al elemento, como: identificación del fabricante, tamaños nominales de entrada y salida, sentido del flujo, presión de tarado, coeficientes de descarga y sección neta correspondiente al flujo.

Es conveniente que cada válvula de seguridad esté provista de una palanca de apertura manual que permita descargarla a una presión inferior a la de tarado, pero hay que tener en cuenta que esta palanca, en caso de tener un peso considerable, estando en su punto muerto podría transmitir cierto esfuerzo sobre el mecanismo de apertura de la válvula, con lo que debería estar diseñada de forma que esto no se produjera.

También indicar que el diseño de las válvulas debería contemplar la instalación de un mecanismo de precinto del órgano de regulación de la presión de tarado, con el objeto de impedir la manipulación no autorizada de este órgano.

Por último, indicar que en medios corrosivos es conveniente la instalación de válvulas de materiales especiales, por ejemplo, desde hace algunos años, algunas válvulas para este tipo de medios están construidas con polímeros fluorados como revestimiento interior de una carcasa metálica, consiguiendo con esta combinación unas buenas propiedades anticorrosivas junto con una elevada resistencia mecánica.

4.6 Características Técnicas de PSV's, Según NTP 342.

4.6.1 Definiciones.

- Válvula de seguridad: Ese dispositivo empleado para evacuar el caudal de fluido necesario de tal forma que no se sobrepase la presión de timbre del elemento protegido.
- Presión de tarado: Es la presión a la cual abre la válvula.
- Sobrepresión: Es el incremento de presión que se produce por encima de la presión de tarado estando la válvula completamente abierta.
- Presión de cierre: Es aquella presión a la cual se cierra la válvula una vez desaparecida la causa que motivó su apertura.
- Escape: Es la diferencia existente entre la presión de tarado y la de cierre.
- Presión de precinto: Es la presión a la que están tarados los elementos de seguridad que protegen el aparato o sistema. También se denomina "timbre" cuando se refiere a la presión máxima de servicio y es la que limita el propio sistema de seguridad.
- Presión de servicio: Es la presión normal de trabajo del aparato o sistema a la temperatura de servicio.
- Presión máxima de servicio: Es la presión más alta que se puede dar en el aparato o sistema en condiciones extremas de funcionamiento del proceso. Es el máximo valor efectivo de tarado de la válvula de seguridad.
- Temperatura de diseño: Es el valor de la temperatura que se toma para el cálculo del espesor del aparato en condiciones severas de funcionamiento.
- Temperatura de servicio: Es el valor de la temperatura alcanzada en el interior del aparato o sistema en condiciones normales de funcionamiento a la presión de servicio.
- Temperatura máxima de servicio: Es el máximo valor de la temperatura que se estima puede producirse en el interior del aparato o sistema en condiciones extremas de funcionamiento.
- Temperatura mínima de servicio: Es el mínimo valor de la temperatura que se estima pueda producirse en el interior del aparato o sistema en condiciones extremas de funcionamiento.

4.7 Terminología según NTP 510

Para entender los diferentes tipos de válvulas de seguridad se debe conocer la terminología empleada más importante.

- Presión de diseño: Es la máxima presión de trabajo a la temperatura de diseño y será utilizada para el cálculo resistente de las partes a presión del aparato. También se

puede definir como la presión utilizada para el cálculo del espesor de un recipiente o un sistema de tuberías.

- Presión de tarado o consigna: Es la presión manométrica predeterminada a la que empieza a ascender la válvula de seguridad.
- Sobrepresión: Es el incremento de presión sobre la presión de tarado durante el ascenso de la válvula. Se alcanza el valor máximo cuando la válvula está completamente abierta. Se expresa normalmente como un porcentaje de la presión manométrica de tarado.
- Presión de alivio: Es la suma de la presión de tarado más la sobrepresión.
- Escape. Despresurización. Subpresión de reasiento. (Blowdown): Es la diferencia entre la presión de tarado y la presión del cierre de nuevo cuando la válvula retorna a su posición normal de descanso. Este término se expresa normalmente como un porcentaje de la presión de tarado.
- Contrapresión: Es la presión estática existente en la boca de salida de una válvula de seguridad. La contrapresión puede estar impuesta por las condiciones de flujo en el sistema de descarga u originada por el flujo de escape desde la válvula de seguridad a través del sistema de descarga.
- Acumulación: Es el incremento de presión sobre la presión de diseño del equipo durante la descarga a través del sistema de alivio. El término se refiere al equipo a proteger y no al dispositivo de alivio de presión. La acumulación máxima permitida está regulada por las normas y códigos de diseño o de trabajo de los equipos y sistemas. La acumulación es el aumento permitido en una situación de emergencia y puede variar del 10% de la presión de diseño, hasta el 25% para situaciones de incendio.
- Presión acumulada máxima permitida: Es la suma de la presión de diseño y la acumulación máxima permitida.
- Caudal de alivio requerido: Es el flujo calculado de descarga de fluido en las condiciones de alivio requeridas para mantener la presión en el equipo protegido en el valor de la acumulación permitida o por debajo de ella.
- Presión de trabajo o servicio: Es la presión normal de trabajo del aparato o sistema a la temperatura de servicio.

Las válvulas de seguridad cumplirán las disposiciones constructivas y de calidad recogidas en la Norma UNE-9-100-86.

4.8 Tipos de Válvulas de Seguridad

Según su elevación:

- Válvulas de seguridad de apertura instantánea: Cuando se supera la presión de tarado la válvula abre repentina y totalmente.
- Válvulas de alivio de presión: Cuando se supera la presión de tarado, la válvula abre proporcionalmente al aumento de presión.

Según su accionamiento:

- Válvulas de actuación directa o convencionales: Son válvulas cargadas axialmente, que al alcanzar la presión de tarado abren automáticamente debido a la acción del fluido a presión sobre el cierre de la válvula.
- Válvulas de actuación indirecta: Son válvulas accionadas por piloto. Deben actuar debidamente sin ayuda de ninguna fuente exterior de energía.
- Válvulas de Seguridad Equilibradas.

Según su agrupación:

- Válvulas de seguridad sencilla: Son las que alojan en su cuerpo a un solo asiento de válvula.
- Válvulas de seguridad dobles o múltiples: Son las que alojan en su cuerpo dos o más asientos de válvulas.

Según su conexión:

- Embridadas.
- Roscadas.
- Soldadas.

Principalmente la selección de Válvulas de Seguridad se determina según el tipo de accionamiento requerido para cada equipo, es aquí donde se pueden distinguir tres tipos según sea su accionamiento: Válvulas de seguridad de acción directa o convencionales, Válvulas de seguridad accionadas por válvula piloto o de acción indirecta y Válvulas de seguridad equilibradas. Todas deben llevar un sistema (palanca, neumático, etc.) que permita su accionamiento a voluntad (excepto en caso de emergencia) para comprobar su funcionamiento, que el disco no esté pegado a su asiento, para despresurizar el sistema, etc.

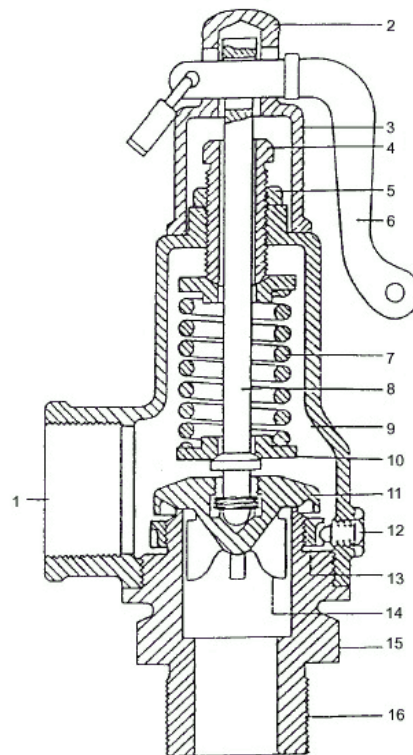
4.8.1 Tipos de Válvulas de Seguridad según su accionamiento

4.8.1.1 Válvulas de seguridad de acción directa o convencionales.

A su vez éstas válvulas pueden ser de varios tipos. Tienen en común que la resistencia a la apertura es generada por una acción mecánica directa de la propia válvula.

4.8.1.2 Válvula de seguridad de acción o presión directa.

Las válvulas de seguridad de acción directa son válvulas cargadas axialmente que al alcanzarse una presión prefijada de tarado se abren automáticamente debido a la acción del fluido o presión sobre el disco de cierre de la válvula. La carga debida a la presión del fluido por debajo del disco de cierre de la válvula está contrarrestada sólo por una carga mecánica directa tal como un resorte, un peso o una palanca y un peso. Es el tipo más sencillo y de uso común sin características especiales para mejorar sus prestaciones. Normalmente alcanzan su capacidad de descarga certificada a una sobrepresión del 10% para gases y vapores y del 10 al 25% para líquidos.



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

Ilustración 4. Esquema de componentes de una PSV

Fuente: NTP 510

4.8.1.3 Válvula de seguridad convencional.

Es una válvula de seguridad del tipo de presión directa en la que la presión de disparo está afectada por cambios en la contrapresión superpuesta.

Esta válvula de seguridad es la más común en la industria química de procesos. Es una válvula mantenida cerrada por la acción de un muelle o resorte con una boquilla de abertura total debajo del asiento, con sombrero o bonete abierto o cerrado rodeando el resorte y unos anillos de ajuste para variar el margen o intervalo entre la presión de tarado y la presión de reasiento o cierre después de la descarga de alivio de presión. Se fabrican en distintos diámetros nominales. La válvula normalmente está guiada por la parte superior a diferencia de la mostrada en la ilustración anterior.

La parte exterior del disco de cierre de la válvula (parte que no está en contacto con el fluido del recipiente a presión) está sometida a la contrapresión existente a la salida de la válvula,

por lo que la fuerza aplicada por el muelle debe equilibrarse con las fuerzas ocasionadas por la presión de tarado y la contrapresión. Si la contrapresión varía, también lo hará la presión de tarado y esto puede ser un inconveniente por lo que el empleo de válvulas de seguridad convencionales se reserva para aplicaciones en que la contrapresión no supera el 10% de la presión de disparo. El efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo varía según que el sombrerete ventee a la atmósfera o a la boca de descarga de la propia válvula.

Adoptando la simbología

FS = Fuerza del resorte

P1 = Presión interna del lado del equipo protegido

P2 = Contrapresión en el lado de descarga

AN = Área de la boquilla

AD = Área del disco

AP = Área de la sección del pistón en contacto con el disco

y estableciendo el equilibrio de fuerzas en el momento en que abre la válvula (desaparecen las fuerzas de reacción en el asiento) según puede verse de forma esquemática en la siguiente ilustración, se tiene para los dos subtipos de válvulas siguientes:

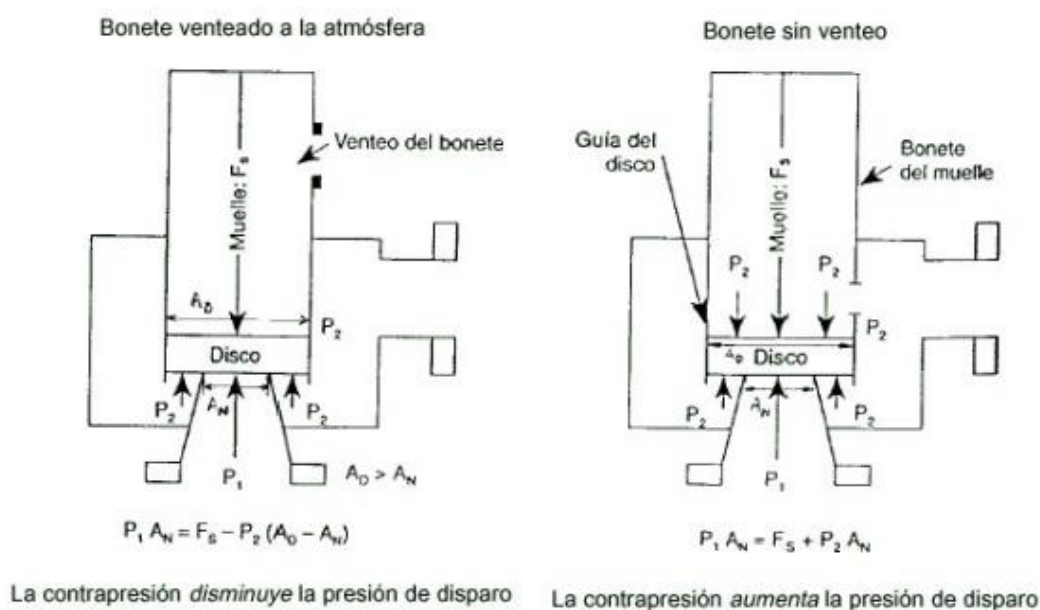


Ilustración 5. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas de seguridad convencionales o no compensadas

Fuente: NTP 510

- a. Válvulas con venteo del sombrerete a la atmósfera:

$$P_1 A_N + P_2 (A_D - A_N) = F_S \quad P_1 A_N = F_S - P_2 (A_D - A_N)$$

En el momento en que abre, P1 pasa a ser la presión de disparo y queda la relación

$$P_1 = F_S / A_N - (A_D - A_N) \cdot P_2 / A_N$$

La contrapresión hace disminuir la presión de disparo por debajo de la presión de tarado prevista F_S / A_N en la magnitud $P_2 (A_D - A_N) / A_N$ con riesgo de disparo prematuro.

Ecuación 1. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas con venteo de sombrerete a la atmósfera.

- b. Válvulas con venteo del sombrerete a la boca de descarga

$$P_1 A_N + P_2 (A_D - A_N) = F_S + P_2 A_D \quad P_1 A_N = F_S + P_2 A_N$$

$$P_1 = F_S / A_N + P_2$$

En este caso la contrapresión incrementa la presión de disparo por encima de la presión de tarado prevista F_S / A_N en la magnitud P_2 con riesgo de no abrir cuando se requiera. Abre con retardo. Cuando la contrapresión excede el 10%, se recomienda utilizar válvulas de seguridad equilibradas que permiten contrapresiones hasta el 50% de la presión absoluta de tarado. A partir de ese valor la capacidad de descarga de esas válvulas decrece notablemente. Los límites en casos particulares dependerán del fabricante y de la proporción relativa entre la contrapresión fija y variable.

Ecuación 2. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas con venteo del sombrerete a la boca de descarga.

4.8.1.4 Válvula de seguridad de carga o presión suplementaria.

Es una válvula de seguridad que tiene aplicada una fuerza adicional (la presión suplementaria) en la parte superior del disco de cierre de la válvula para aumentar la fuerza de sellado y mejorar la hermeticidad (o estanqueidad) del asiento de la válvula hasta que se alcanza la presión de tarado. La carga suplementaria deberá ser fácilmente eliminable al alcanzar la presión máxima admisible.

La fuerza adicional es proporcionada por una fuente de potencia externa (neumática, hidráulica o solenoide eléctrico) que se libera de forma fiable al alcanzar la presión de tarado

permitiendo que abra la válvula y alivie el exceso de presión. Esta fuerza adicional vuelve a quedar aplicada para ayudar al reasiento de la válvula de seguridad, cuando la presión desciende por debajo de la presión de tarado.

La presión suplementaria está limitada de forma que si por mal funcionamiento no se libera esa presión cuando se llega a la presión de tarado la capacidad de descarga certificada de la válvula se consigue a una sobrepresión del 15% (para gases o vapores). Este requisito significa que la presión de tarado será frecuentemente menor que la presión de diseño, de forma que la presión de alivio no exceda la presión acumulada máxima permitida. En el Código Español de Recipientes A Presión (CERAP), se indica que la suma de las fuerzas de cierre, incluida la carga suplementaria, no puede ser superior a 1,2 veces la fuerza de apertura de la válvula a la máxima presión admisible.

4.8.2 Válvulas de seguridad accionadas por válvula piloto o de acción indirecta

Las válvulas de seguridad de acción indirecta son aquellas en las que el soplado de la válvula principal se efectúa únicamente por la acción de una o varias válvulas de seguridad piloto.

4.8.2.1 Válvula de seguridad accionada por piloto o presión indirecta.

Es una válvula de seguridad accionada por el movimiento de una válvula piloto que es por sí misma una válvula de presión directa como la descrita en primer lugar. La válvula piloto debe actuar debidamente sin ayuda de ninguna fuente exterior de energía. En una disposición típica la presión de cierre del asiento de la válvula principal es proporcionada por la propia presión del fluido que actúa sobre una superficie de área mayor que la situada por debajo del disco de la válvula.

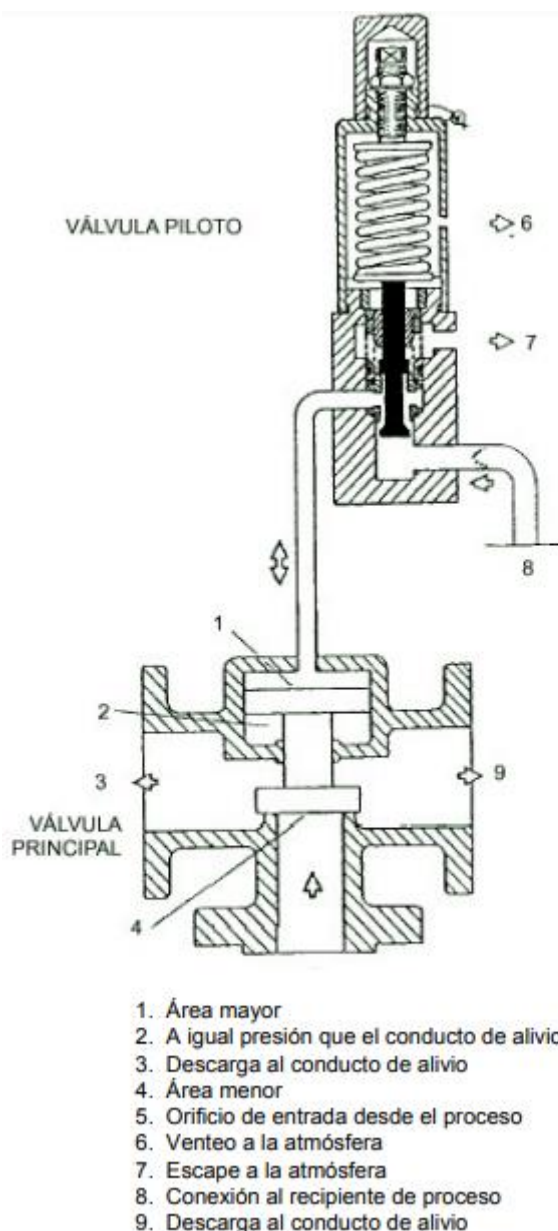


Ilustración 6. Válvula de Seguridad accionada por piloto (American Petroleum Institute).

Fuente: NTP 510

Cuando se alcanza la presión de tarado, la válvula piloto se abre, liberando la presión del fluido que actuaba sobre el área mayor del disco de cierre de la válvula principal y permitiendo que se abra la válvula principal para la descarga de alivio. Si son necesarios conductos tubulares de control, éstos serán cortos y de trazo sencillo.

A continuación, se indican las ventajas de estas válvulas de seguridad:

- La ventaja principal es la reducción del margen entre la presión de servicio y la de tarado, y poder funcionar a presiones de tarado bajas.
- Para un tamaño dado del orificio de la válvula, queda reducida la altura y el peso.
- Diseñadas para permanecer herméticamente cerradas hasta que se alcanza la presión de tarado. Adecuadas cuando la presión de servicio supera el 90% de la presión de tarado.

- La vibración o castañeteo (chattering) de la válvula debido a la contrapresión no es posible.
- La presión de tarado no se ve afectada por la contrapresión.
- Se pueden utilizar en servicio de vapor o líquido con contrapresiones superiores al 50% de la presión de tarado (sujeto a la verificación del suministrador).
- La presión de la válvula piloto y de reasiento se puede verificar con la válvula en servicio.
- El escape se puede especificar a valores tan bajos como el 2% de la presión de tarado.
- Se pueden especificar para acción modulante, es decir, abrir sólo en proporción a la necesidad de alivio. De esta forma reduce el problema en la unidad de proceso y la cantidad de producto perdido hacia la antorcha de quemado cada vez que ocurra una ligera sobrepresión. Una válvula de acción modulante tiene un valor del escape igual a cero. Está diseñada para cerrar de nuevo a su presión de tarado.
- Su coste puede ser menor que las válvulas de resorte por acción directa a partir de un tamaño superior a 3”.

Algunos de los inconvenientes son:

- El inconveniente principal es que la válvula piloto sólo funciona satisfactoriamente en un servicio limpio, tal como con agua y vapor de agua. Los conductos estrechos de la válvula piloto están sujetos a obturaciones en servicio sucio o cuando ocurran solidificaciones o precipitaciones en la descarga.
- Necesitan características de diseño no relacionadas generalmente con las válvulas de resorte de acción directa, tales como un filtro en el conducto sensor si el servicio es sucio y una válvula de retención si la válvula descarga a un sistema colector en una antorcha de quemado.
- Tienen límites de temperatura más restrictivos que las válvulas de resorte de acción directa.
- La tecnología es más complicada y se necesita un mejor conocimiento para especificarlas e instalarlas correctamente.
- La selección de los metales de fabricación es más restrictiva.
- Son más caras que las válvulas de resorte de acción directa cuando son de tamaño inferior a 3”.

Se puede aumentar la fiabilidad y la posibilidad de verificación mediante la duplicación de estas válvulas, pero aun así no se puede garantizar la fiabilidad si la presión sobre la válvula está proporcionada totalmente por el fluido. Para mejorar esta situación se utiliza la válvula descrita a continuación.

4.8.2.2 Válvula de seguridad asistida por piloto.

Es una válvula de seguridad accionada por el movimiento de una válvula piloto en la que la presión de cierre de la válvula principal está proporcionada por una combinación de la presión del fluido y un resorte helicoidal. En una disposición típica el resorte contribuye en un 75% de la fuerza total y el resto lo proporciona la propia presión del recipiente protegido a través de la válvula piloto. Si la válvula piloto falla en su apertura, la válvula de seguridad asistida por piloto, todavía funcionará como válvula de seguridad de presión directa, aunque a una presión de alivio superior. Cuando se excede la presión de tarado se dispara la válvula piloto que ventea la presión complementaria que mantenía el disco de la válvula principal en posición de cierre, con lo cual ésta se abre. La válvula de seguridad asistida por piloto también permanecerá cerrada en situación de vacío (presión inferior a la atmosférica) por la fuerza ejercida por el resorte, al contrario de lo que sucedería en la válvula de seguridad accionada por piloto la cual quedaría abierta, como se puede ver al hacer la composición de fuerzas y especialmente por el efecto de la presión atmosférica o contrapresión al actuar sobre dos superficies contrapuestas de distinta área (superficie inferior del disco de área mayor y superficie superior del disco de área menor), dando lugar a una fuerza ejercida hacia arriba mayor que hacia abajo y por lo tanto levantando (abriendo) la válvula principal de su asiento.

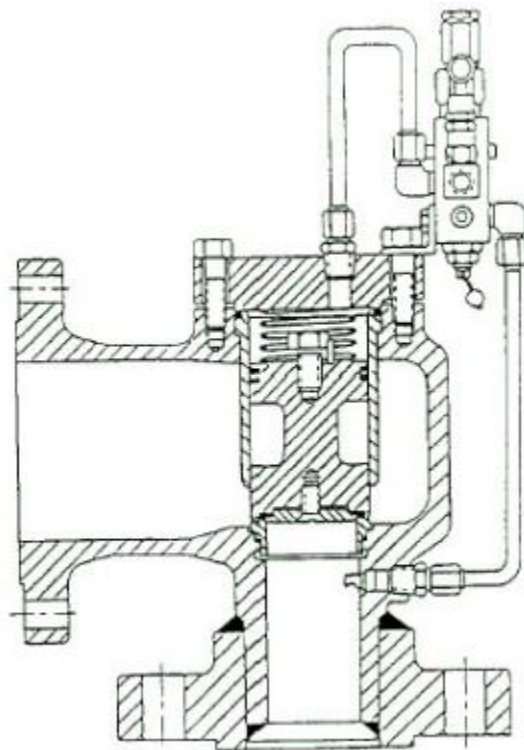


Ilustración 7. Válvula de Seguridad asistida por piloto.

Fuente: NTP 510

4.8.3 Válvulas de seguridad equilibradas.

Las válvulas de seguridad equilibradas son aquellas en las que se consigue equilibrar el efecto de la contrapresión mediante un fuelle o pistón según se describe en los siguientes tipos:

4.8.3.1 Válvula de seguridad equilibrada o compensada de fuelle.

Este tipo de válvula incorpora un cierre con fuelle lo cual evita que la descarga de fluido entre en el espacio del sombrerete. El fuelle tiene un área efectiva igual al área del asiento de la válvula por lo cual el efecto de la contrapresión sobre la presión de tarado queda eliminado. Están diseñadas para que se igualen las fuerzas ocasionadas por la contrapresión a ambos lados del disco de cierre de la válvula. El equilibrio de fuerzas se puede ver esquemáticamente en la figura 8, adoptando la simbología anterior y siendo:

A_B = Área del fuelle

Estableciendo el equilibrio de fuerzas

$$P_1 A_N + P_2 (A_D - A_N) = F_S + P_2 (A_D - A_B)$$

Como $A_B = A_N$ se tiene.

$$P_1 A_N = F_S \quad P_1 = F_S / A_N$$

La contrapresión P_2 no influye en la presión de disparo P_1 .

Ecuación 3. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas equilibradas o compensadas de fuelle.

El sombrerete tiene un orificio en comunicación con la atmósfera, el cual no debe taponarse ya que en ese caso alteraría la presión de tarado, debido al aumento de la presión en el interior del sombrerete durante la ascensión del vástago, por lo cual la válvula no funcionaría como válvula de seguridad equilibrada. El fuelle también tiene un venteo para no acumular presión en su interior.

Estas válvulas se recomiendan para servicio con productos corrosivos, que lleven suciedad o que den lugar a incrustaciones.

En el caso de fallo o avería del fuelle, el fluido puede entrar en el espacio del sombrerete y escapar por el orificio de venteo. Es esencial que se detecte cualquier escape a través del orificio del sombrerete ya que afectaría a la presión de tarado de la válvula. Si no se puede

aceptar tal fallo, en especial si es súbito, se debe utilizar una válvula de seguridad equilibrada de pistón o de fuelle con pistón auxiliar.

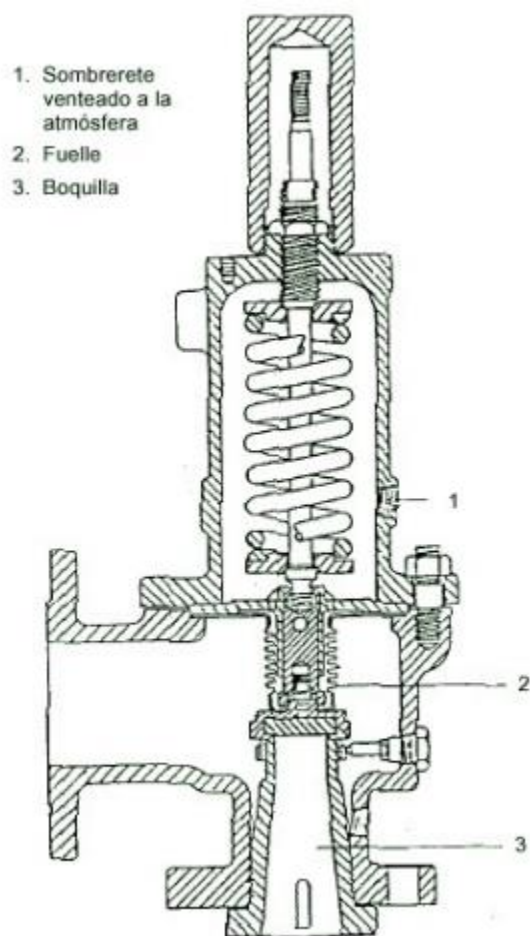


Ilustración 8. Válvula de Seguridad equilibrada de fuelle (Imperial Chemical Industries).

Fuente: NTP 510

4.8.3.2 Válvula de seguridad equilibrada o compensada de pistón.

Es una válvula de seguridad que incorpora un pistón entre el disco de la válvula y el resorte.

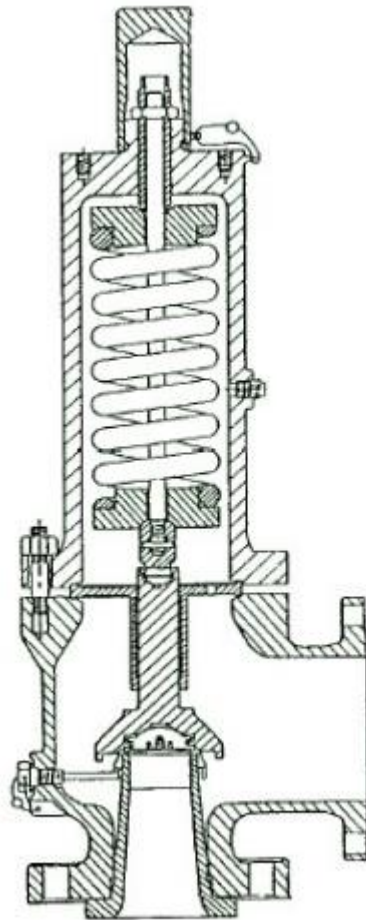


Ilustración 9. Válvula de Seguridad equilibrada de Pistón (Crosby Valve & Eng. CO.).

Fuente: NTP 510

El pistón tiene un área efectiva igual al área del asiento de la válvula de forma que queda eliminado el efecto de la contrapresión sobre la presión de tarado de la misma manera que en la válvula anterior. El equilibrio de fuerzas (Ver siguiente ilustración) daría:

$$P_1 A_N + P_2 (A_D - A_N) = F_S + P_2 (A_D - A_P)$$

Siendo $A_P =$ Área del pistón; como $A_P = A_N$ se tiene

$$P_1 A_N = F_S \quad P_1 = F_S / A_N$$

Igual que en la válvula compensada de fuelle la presión de disparo P_1 no depende de la contrapresión P_2 o dicho de otra forma, la fuerza de apertura (presión de disparo x área de la superficie de contacto del disco con el recipiente) es igual a la fuerza del resorte y sin dependencia de la contrapresión P_2 .

Ecuación 4. Efecto de la contrapresión de disparo para válvulas equilibradas o compensadas de pistón

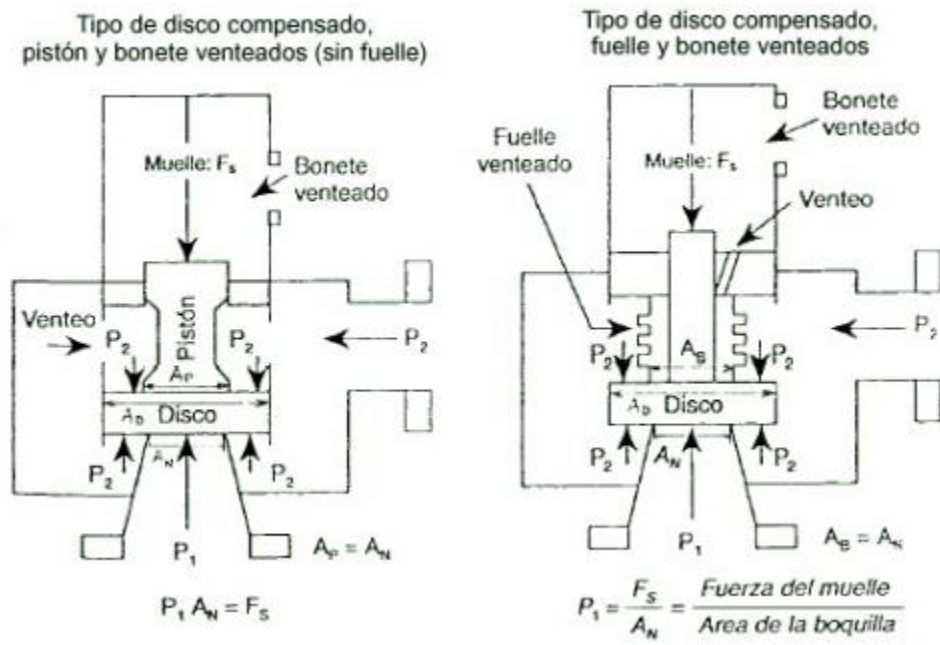


Ilustración 10. Efecto de la contrapresión sobre la presión de disparo para válvulas de seguridad compensadas.

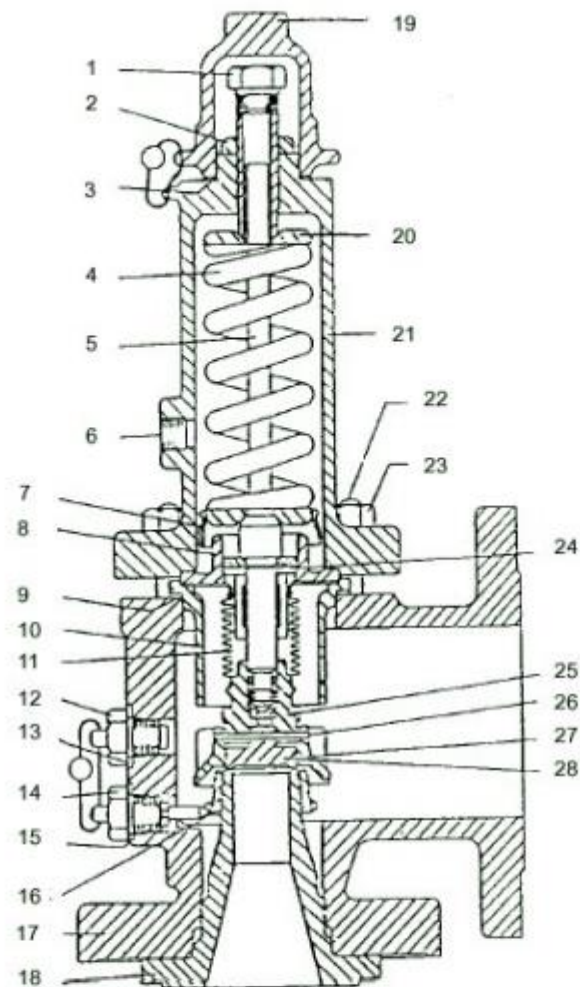
Fuente: NTP 510

Estas válvulas tienen las siguientes características:

- La cara superior del pistón tiene igual área que el asiento de la boquilla (superficie de contacto con el fluido del recipiente).
- La guía del pistón está venteadada de forma que se equilibran las contrapresiones en las caras opuestas del disco.
- El sombrerete debe estar venteadado a un lugar seguro a presión atmosférica para operar con productos peligrosos, ya que con este tipo de válvula es inevitable un flujo reducido continuo que pasa desde el pistón al sombrerete.

4.8.3.3 Válvula de seguridad equilibrada o compensada de fuelle con pistón auxiliar.

Esta válvula incorpora un pistón auxiliar que tiene un área efectiva igual a la del asiento de la propia válvula. En caso de fallo del fuelle la válvula funcionaria como una válvula de seguridad equilibrada de pistón, evitando así el inconveniente indicado en las válvulas de seguridad equilibradas de fuelle que se ven afectadas por un escape de fluido al interior del sombrerete. El sombrerete también debe ser venteadado a un lugar seguro.



- | | |
|---|---|
| 1. Tornillo de ajuste | 15. Junta del tornillo de ajuste |
| 2. Tuerca de bloqueo del tornillo de ajuste | 16. Anillo de la boquilla |
| 3. Junta de la caperuza | 17. Cuerpo |
| 4. Resorte | 18. 1Boquilla |
| 5. Vástago | 19. Caperuza |
| 6. El sombrerete debe estar venteado a la atmósfera | 20. Arandela |
| 7. Guardapolvo | 21. Sombrerete |
| 8. Guía del vástago | 22. Espárrago del sombrerete |
| 9. Junta protectora | 23. Tuerca del espárrago del sombrerete |
| 10. Protector del fuelle | 24. Pistón auxiliar equilibrado |
| 11. Fuelle | 25. Soporte del disco |
| 12. Tapón | 26. Pasador |
| 13. Junta del tapón | 27. Anillo del disco |
| 14. Tornillo de ajuste del anillo de la boquilla | 28. Separador |

Ilustración 11. Válvula de seguridad compensada de fuelle con pistón auxiliar (Imperial Chemical Industries)

Fuente: NTP 510

4.9 Tipos de Mantenimiento

Como muestra la siguiente ilustración, tradicionalmente, se distinguen dos tipos de Mantenimiento, diferenciados entre sí por el carácter de las acciones que incluyen: El Mantenimiento Preventivo y el Mantenimiento Correctivo.

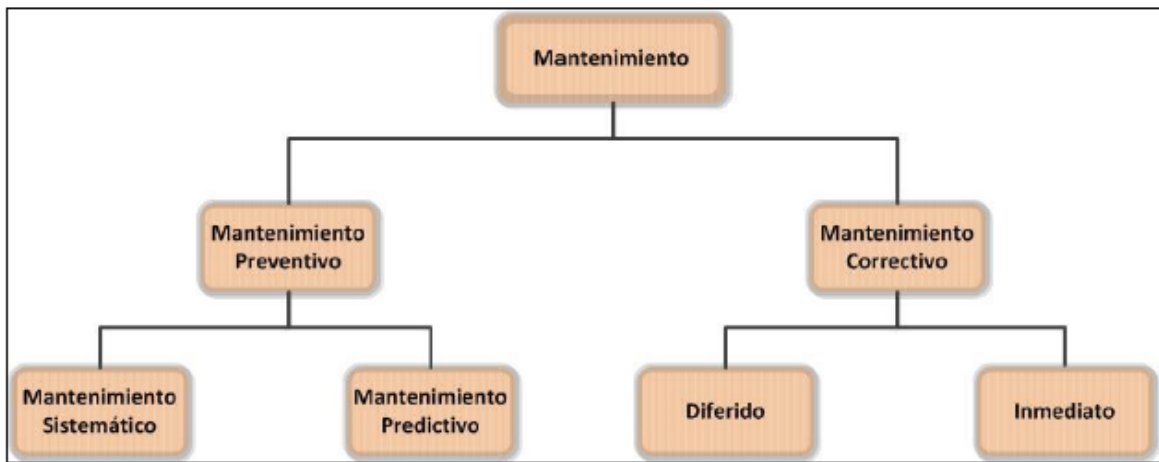


Ilustración 12. Tipos de Mantenimiento

Fuente: González, F. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado

4.9.1 Mantenimiento Preventivo:

Es el tipo de mantenimiento realizado para reducir la probabilidad de falla o de pérdida de rendimiento de un equipo, según previa planificación condicionada por intervalos de tiempo o parámetros de seguimiento. El Mantenimiento Preventivo se divide en dos tipos: El Mantenimiento Predictivo y el Mantenimiento Preventivo Sistemático.

- Mantenimiento Preventivo Predictivo: Es aquel que se basa en un programa de inspecciones regulares establecidas en función de parámetros conocidos y significativos, con el objeto de informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones, e intervenir una vez que se detectan precozmente los síntomas de la avería.
- Mantenimiento Preventivo Sistemático: Es aquel que se basa en un plan establecido según intervalos predeterminados de tiempo, unidades producidas, horas de trabajo, entre otras, con el objeto de intervenir los puntos vulnerables de los equipos en el momento más oportuno, aun cuando no hayan presentado síntomas de fallas.

4.9.2 Mantenimiento Correctivo:

Es el tipo de mantenimiento realizado a un equipo cuando la falla ya se ha producido, por lo tanto, permite restituir su función. El Mantenimiento Correctivo se divide en dos tipos, de acuerdo a su gravedad: Mantenimiento Correctivo Diferido y el Mantenimiento Correctivo Inmediato.

- **Mantenimiento Correctivo Diferido:** Es aquel que atiende fallas que ya han ocurrido, pero que no comprometen mayormente la producción, la seguridad de las personas y la seguridad del medio ambiente, por lo tanto, su ejecución puede ser programada.
- **Mantenimiento Correctivo Inmediato:** Es aquel que atiende las fallas en el momento en que son comunicadas, dado que comprometen la producción, la seguridad de las personas y la seguridad del medio ambiente.

4.10 Procedimiento de Mantenimiento a Válvulas de Seguridad en División Mecánica

4.10.1 Objetivo

Establecer los requerimientos técnicos para realizar inspección, mantención y certificación a las válvulas de alivio, de manera de garantizar su correcto funcionamiento, resguardar la seguridad de las personas y permitir la continuidad operacional

4.10.2 Alcance

Los presentes antecedentes son aplicables al Personal de la División Mecánica de la Refinería Bío Bío y los criterios contenidos en el presente documento son de aplicación obligatoria en las instalaciones de ENAP Refinería Bío Bío, los cuales cubren el ciclo para la inspección, mantenimiento y pruebas de los dispositivos de seguridad.

4.10.3 Responsabilidad

ACTIVIDADES	JDM	IM	SM	PDM	EECC
1.- Velar por la existencia, actualización, implementación y cumplimiento del presente Instructivo. Asegurar su difusión y recursos para su implementación.	RD	C	C		
2.- Exigir su conocimiento y cumplimiento del presente instructivo	C	C	E	I	I
3.- Conocer y cumplir el Instructivo. <ul style="list-style-type: none"> • Hacer cumplir el instructivo a través de su línea. • Verificar que el personal a cargo conozca y cumpla el instructivo. 	I	I	RD	I	I
4.- Coordinar las acciones que correspondan según este instructivo para asegurar la correcta mantención de las válvulas	C	C	E	I	I

5.- Ejecutar las actividades de inspección y mantención definidas de acuerdo con el presente instructivo.			RD	E	I
6.- Llevar registro de las actividades de mantención realizadas		C	RD	E	I

Tabla 2. Responsabilidades División Mecánica

Fuente: Instructivo Válvulas de Seguridad ENAP – Refinería Bío Bío

4.10.4 TERMINOLOGÍA

JDM	Jefe Div. Mecánica	R	Responsable final de la actividad
SM	Supervisor de Maestranza	RD	Responsable de su División o área
IM	Ingeniero Mantención	C	Colabora en la actividad
PDM	Personal Div. Mecánica	E	Ejecuta
EECC	Empresa Contratista	I	Toma conocimiento para su información, coordinación y toma de decisiones

4.10.5 Definiciones

- **Hoja de Datos:** Documento que contiene todos los datos de la válvula de seguridad (marca, modelo, tamaño, número de serie, orificio, TAG, datos de operación, presión de calibración, fluido de prueba, etc.) Esta información proveniente del fabricante se debe respetar en todo proceso de mantenimiento y pruebas, por lo que siempre debe estar actualizada.
- **Banco de Pruebas:** Banco especialmente diseñado para efectuar pruebas a válvulas de seguridad. Cuenta con un sistema computacional que deja registros únicos (Certificado de prueba automáticos) para cada ensayo que se realice. Este banco de pruebas debe contar con una certificación que se debe renovar a lo menos 1 vez al año.
- **Certificado de prueba:** Es el certificado que emite el Banco de pruebas cuando una válvula es ensayada. Por cada ensayo, el Banco de pruebas emite un certificado con un número único, donde quedan registrados todos los datos del ensayo y de la válvula involucrada.
- **Prueba Pre-Pop:** Es la prueba a la que se debe someter a toda válvula de seguridad antes de su mantenimiento en las mismas condiciones que fue sacada de servicio. Esta prueba se lleva a cabo en el Banco de Pruebas y entrega la presión de apertura

de la válvula de seguridad, lo que resulta fundamental para analizar sus condiciones de funcionamiento.

- Presión de servicio: Es la presión normal a la que está sometido un equipo, bajo condiciones normales de operación.
- Presión de calibración: Es el valor de presión en la entrada de la válvula de seguridad a la cual debe operar cuando está montada en planta en su equipo correspondiente (presión mayor a la de servicio).
- Presión de prueba en frío (CDTP): Presión a la cual la válvula de seguridad es calibrada para abrir en el banco de pruebas. La presión de prueba en frío incluye correcciones para ajustarse a las condiciones de servicio como la contrapresión, temperatura o ambas (esta presión puede ser mayor o menor a la calibración, dependiendo de las condiciones reales de operación). “API 576 – 2009 3.4.7”
- Presión de apertura o de disparo: Presión en la entrada de la válvula de seguridad que provoca la apertura y descarga continua del fluido. Dependiendo del estado de la válvula de seguridad, este valor puede ocurrir por sobre o por debajo de la presión de calibración. “API 576 – 2009 3.4.11” Una válvula de alivio que esté en óptimas condiciones siempre debe tener una presión de apertura igual a la de calibración
- Presión de cierre: Luego de haberse generado una apertura de la válvula de seguridad es la presión en la entrada a la cual la válvula vuelve a cerrarse, eliminando el paso de flujo y manteniendo la hermeticidad del equipo, según inspección. “API 576 – 2009 3.4.6”
- Presión de prueba de hermeticidad: Es la presión en la entrada de la válvula de seguridad a la cual se realiza la prueba para detectar fugas en el mecanismo de cierre (presión menor a la de calibración). “API 576 – 2009 6.2.16”

4.10.6 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- Banco de pruebas de Válvulas de Seguridad
- Herramientas y equipos varios de Maestranza.

4.10.7 ACTIVIDADES

En el siguiente diagrama de flujo se presentan las actividades relacionadas en una mantención de las válvulas de Seguridad.

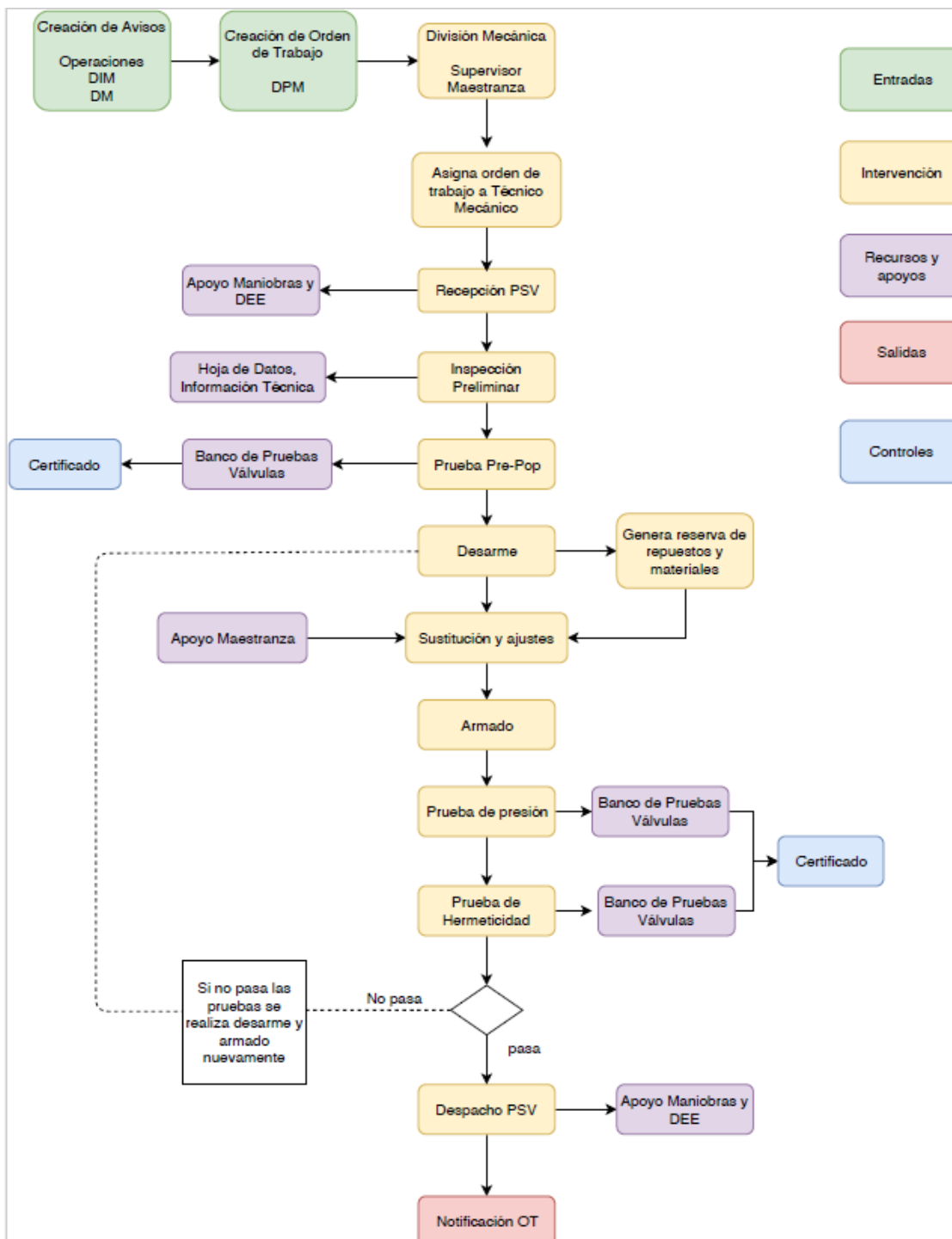


Ilustración 13. Diagrama de flujo - Actividades de mantenimiento para Válvulas de Seguridad.

Fuente: Instructivo Válvulas de Seguridad ENAP – Refinería Bio Bio

A continuación, se detallan las principales actividades mencionadas en el diagrama anterior.

4.10.7.1 Requisitos generales

Para planificar la intervención de una válvula de seguridad debe generarse una orden de trabajo previo aviso de mantenimiento SAP. Los avisos de mantención son generados por una necesidad de realizar actividades de mantenimiento y pueden ser provenientes de:

- Operaciones: cuando se detecte una condición de fuga en la válvula de alivio.
- División Mecánica: Atender en detenciones programadas en base al tiempo de acuerdo con los registros históricos de calibración (Mantenimiento preventivo). Además, debe generar aviso para una prueba de recepción para cuando ingresa una válvula de alivio nueva.
- División Ingeniería Mantención: Genera aviso en base a Monitoreo de Condición.

4.10.7.2 Recepción válvula de alivio

Las válvulas de alivio que llegan al taller de la División Mecánica para ser inspeccionada y/o mantenidas, deben ser recibidas por el Supervisor de Maestranza. Si corresponde a una válvula de alivio nueva, el Supervisor de Maestranza debe solicitar a Ingeniería que se le haga entrega de la hoja de datos respectiva y el número de TAG asignado vía memorándum. Para el caso de válvulas de alivio existentes, el Supervisor de maestranza debe confirmar que la válvula esté debidamente rotulada y que su hoja de datos se encuentre disponible. Se debe mantener un registro de recepción de las válvulas recibidas en taller “*API 576 2009 – 5.7*”

4.10.7.3 Inspección preliminar

El Personal Técnico responsable del mantenimiento de la válvula de alivio debe hacer una inspección visual preliminar, para ver que los componentes estén debidamente instalados y que el cuerpo de la válvula esté en condiciones apropiadas para asegurar la seguridad en el posterior ensayo en el Banco de Pruebas. En el caso de encontrar alguna condición anómala, deberá dejar registro en el campo “comentarios” de la prueba Pre-Pop en el Banco de Pruebas e informar al Supervisor Maestranza.

Verificar que la válvula cuente con placa de identificación, para que la información contenida en ella sea congruente con la indicada en la hoja de datos de diseño. Estos valores deben obtenerse desde la placa identificación, hoja de datos o de los registros de certificaciones previas. “*API 576 2009 – 5.7*”

4.10.7.4 Prueba Pre-Pop

Toda válvula de alivio que llegue al taller para su mantenimiento y/o inspección deberá obligatoriamente ser sometida a una prueba Pre-Pop en el Banco de pruebas antes de ser intervenida, emitiendo un certificado que evidencia la condición de recepción. Con esta prueba se determina la presión de apertura de la válvula de alivio, lo que resulta fundamental para analizar su funcionamiento y verificar si estaba dentro de su rango de calibración.

El técnico debe cuidar ingresar correctamente todos los datos de la válvula en el Banco de Pruebas, los que deben corresponder a los indicados en la hoja de datos respectiva. “API 576 2009 - 5.8”

La presión a la que se alivia la válvula se registra como prueba Pre-Pop, normalmente, la presión de entrada no se incrementa más allá del 150% de la presión ajustada de la válvula. “API 576 2009 – 6.2.9.1”

Si el estallido inicial está a una presión más alta que el CDTP, la válvula debe probarse por una segunda vez. Si en el segundo intento no hace estallar dentro de las tolerancias permitidas por el ASME BPVC, la válvula estaba originalmente fuera de especificación o se generó un cambio durante la operación.

Precaución:

- Si la válvula esta extremadamente sucia cuando se recibe, el usuario puede reducir la inspección de intervalo de la prueba de recepción para no dañar los internos de la válvula. “API 576 -2009 6.2.9.3”
- Si se observa una corrosión, depósitos o condiciones inusuales en la válvula de alivio de presión, inspector que representa al usuario debe ayudar en la inspección.
- En caso de tener una sobrepresión de apertura mayor a un 30%, se deberá evaluar la necesidad de un análisis de falla, en caso de superar el 50% este análisis debe realizarse de forma obligatoria.

4.10.7.5 Desarme

El Personal Técnico debe desarmar la válvula siguiendo las recomendaciones del fabricante y efectuar la limpieza de todos sus componentes. Éstos deben ser revisados con el fin de conocer las condiciones generales en las que la válvula fue retirada de servicio y así tener acceso a evidencias de desgaste o daño.

4.10.7.6 Sustitución y ajustes

El Técnico debe sustituir toda pieza que esté fuera de condición o tolerancia admitida por el fabricante. El Técnico puede ajustar/rectificar las piezas considerando los límites establecidos permisibles. Cualquier cambio o ajuste debe quedar registrado en el campo “Comentarios” de la prueba de calibración final de la válvula de alivio que se hará al término del mantenimiento, en el Banco de pruebas.

4.10.7.7 Armado

Una vez que se ha realizado el mantenimiento, sustitución y/o ajustes de los componentes de la válvula de alivio, ésta debe armarse nuevamente utilizando información técnica disponible.

4.10.7.8 Prueba de presión

Una vez armada la válvula de alivio, debe ser montada en el Banco de Pruebas y ser ensayada según la hoja de datos respectiva, con el fin de ajustarla a su presión de calibración. Este proceso puede ser iterativo, debiendo el técnico emitir el certificado del ensayo en el cual la válvula de alivio quede operando a la presión de calibración requerida. En dicho ensayo debe quedar registrada toda la información relevante del mantenimiento, en el campo “comentarios” que ofrece el Banco de pruebas. Una vez ajustada la válvula debe abrirse al menos una vez para demostrar la precisión del ajuste. Normalmente la desviación de la prueba de presión establecida no debe exceder de +/- 2 lbf/in² (+/- 13.8 KPa) para presiones menores o iguales a 70 lbf/in² (483.0Kpa) o +/- 3% para presiones superiores a 70 lbf/in² (483 Kpa) “API 576-2009 6.2.15.2”.

4.10.7.9 Prueba de hermeticidad

Luego de que la válvula de seguridad se encuentra calibrada a su presión, se debe someter a una prueba de hermeticidad en el Banco de Pruebas. Esta prueba se hará a la presión indicada en la hoja de datos y permitirá asegurar que la válvula permanece hermética a dicha presión. Para esto, se inspeccionará si existen fugas por el lado de descarga de la válvula, aumentando la presión hasta el 90% del CDTP. “API 576 2009 - 6.2.16”. Todo esto ayudándose tanto en líquidos de inspección especiales y validados por los fabricantes como en la instrumentación del Banco de pruebas. En caso de existir una fuga, la válvula debe repetir todo el proceso de mantenimiento y el técnico debe informar al Supervisor de Maestranza si se encuentra fuera de tolerancia, según API 527

4.10.7.10 Despacho de la válvula de alivio

Las válvulas de alivio que terminen su proceso de mantenimiento deben estar cubiertas en las entradas y salidas antes que salgan de taller y deben ser devueltas al personal correspondiente. “API 576 -2009 5.8.3.2” Dicha entrega debe efectuarla el Supervisor de Maestranza, adjuntando las copias de los certificados de los ensayos efectuados en el Banco de Pruebas (Pre-Pop y presión de calibración).

El Supervisor debe dejar un registro de la entrega con la fecha y TAG de la válvula despachada.

4.10.7.11 Registros

Se debe mantener un sistema adecuado de registros para tener toda la información necesaria disponible para la coordinación y gestión de la mantención de las válvulas de alivio.

Para cada dispositivo de alivio de presión en servicio, se debe mantener un registro permanente y completo. El registro debe incluir datos de especificación, historial de mantención y resultados de pruebas. “API 576-2009 7.2.1”

Los registros históricos que muestran las fechas y los resultados de las inspecciones y pruebas son necesarios para la fase de seguimiento o control del programa de válvulas de alivio. Permiten revisiones periódicas para determinar si se están realizando los intervalos de prueba planeados para un dispositivo. “API 576-2009 7.2.2”

Los tiempos de mantenimiento son definidos según el control de programa de válvulas, como es mencionado anteriormente, el cual permite programar en distintos intervalos de tiempo los mantenimientos a válvulas, según historial de resultados presentes en cada una de ellas.

Todas aquellas válvulas que no son consideradas dentro del programa de mantenimiento anual (Parada de Planta), son sometidas a evaluación para ser consideradas según prioridad, en el próximo proceso de mantención anual.

4.11 Metodología RCM

La metodología RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos.

El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga. John Moubray definió el RCM como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional.

4.12 Análisis FMECA

El FMECA (*Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*, o análisis de modos de fallos, efectos y su criticidad, por sus siglas en inglés), es una metodología para identificar y analizar todos los modos de fallos potenciales de las diferentes partes de un sistema. Además, los efectos que estos fallos puedan tener en el sistema, cómo evitar los fallos y/o mitigar sus efectos en el sistema.

4.12.1 Objetivo

El objetivo de identificar las fallas, es establecer acciones y tareas de mantenimiento para mantener una baja tasa de ocurrencia, reduciendo así los riesgos que puedan tener sobre los aspectos de seguridad de las personas, medioambientales y producción. De esta manera es posible cuantificar los riesgos y la confiabilidad del sistema.

4.12.2 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad identifica los riesgos potenciales. Esto significa que las tareas de mantenimiento pueden asignarse en función de la criticidad de cada activo, lo que garantiza un buen estado operativo de todos los equipos.

5 Capítulo V: Diseño de Solución

En este capítulo se identifica la situación actual del Mantenimiento Preventivo a Válvulas de Seguridad dentro de la División Mecánica, utilizando el análisis de FMECA, junto con técnicas y herramientas necesarias, con el fin de ubicar la problemática planteada y clarificar las oportunidades sobre las cuales se definirá la propuesta de solución.

5.1 Metodología

5.1.1 Etapas de diagnóstico:

Etapas 1: Levantamiento de la información obtenida mediante los registros e historiales de ensayos realizados a las diferentes válvulas que actualmente se encuentran en funcionamiento a lo largo de la planta, junto con su posterior clasificación con respecto a su estado de sobre-presión (30%, 50%, 150%), para el análisis de criticidad, según sus resultados.

Etapas 2: Aplicar la metodología RCM y FMECA, para el análisis de los tipos de fallos, averías y paradas del equipo, sus efectos en la producción y la probabilidad de que se produzcan esos acontecimientos, a fin de generar la propuesta en la mejora del plan de mantenimiento actual, bajo los resultados obtenidos.

5.1.2 Identificación del Problema:

Se ha considerado el análisis del impacto del problema planteado por la División Mecánica en la gestión del Departamento de Mantención, la inexistencia de un historial de criticidad, como resultado de los ensayos, por falta de registro escrito, información del estado de estas y comisionamiento, dentro de los dispositivos de seguridad de los procesos como lo son las válvulas de seguridad de ENAP - Refinería Bio Bio, que como resultado negativo, generan un potencial riesgo para la seguridad de sus trabajadores, el correcto funcionamiento dentro de los procesos y daños al medio ambiente.

5.2 Historial de Ensayos y Consolidado en ENAP – Refinería Bío Bío

Los contenidos y registros utilizados para su desarrollo, fueron obtenidos de los diversos ensayos realizados a las Válvulas de Seguridad, desde 1966 a la fecha, que se encuentran en las diferentes áreas y plantas de las instalaciones de ENAP - Refinería Bío Bío. Dichos datos se encuentran registrados en el software SVGS, utilizado por personal de la división para mantener un registro personalizado para cada válvula inspeccionada.

Al mismo tiempo, para su exhaustivo análisis fue necesario clasificar y organizar los 11.569 ensayos registrados en el sistema, el cual fue reducido dentro de un rango a partir del año 2015 a la fecha, con la finalidad de la obtención de resultados más claros y precisos y actualizados.

5.2.1 Objetivo

El principal objetivo, como ya señalamos anteriormente es identificar y seleccionar las válvulas de seguridad que sufrieron una sobre-presión en un rango de un 30% junto con aquellas que superan el 50% de sobre-presión en el ensayo de recepción.

Al regirnos por la normativa *API 576 2009*, que habla sobre la inspección para la reparación de válvulas, el artículo 6.2.9 indica que, al momento de realizar el ensayo, esta generalmente no supera el 150% de presión de calibración, por consiguiente, en el artículo 6.2.9.2 se indica que, si la válvula no acciona sobre el 150% de presión de calibración, esta se debe considerar como “atascada cerrada”. Así mismo, en el artículo 6.4.2.1.2 hace referencia a que toda aquella válvula que obtenga resultados erráticos o variaciones significativas con respecto al CDTP, debe ser sometida a inspecciones en intervalos de tiempos reducidos, junto con su modificación para mejorar el rendimiento.

Es por ello que se busca modificar los procedimientos de los registros escritos en cada ensayo, los cuales actualmente presentan poca información útil para el posterior mantenimiento de estas, lo que significa no darne el mantenimiento más adecuados según sus requerimientos. Así mismo, al identificar aquellas válvulas que han presentado sobre-presión en el rango establecido, serán catalogadas bajo una alerta de criticidad junto con todas aquellas que arrojen los mismos resultados, para optimizar sus periodicidades de mantenimiento, y evitar fallas futuras que conlleven riesgos al personal, detenciones no programadas y daños al medio ambiente.

5.2.2 Consolidado Sobre-Presión de PSV´s 2015 a la fecha.

La siguiente tabla presenta el historial resumido de ensayos que arrojaron una Sobre-presión de un 30%, 50% y sobre el 150% en Válvulas de Seguridad, desde el año 2015 en adelante con la finalidad de la obtención de resultados claros y específicos en el análisis. Al mismo tiempo se puede observar en la tabla los antecedentes como numero de certificado, fecha de ensayo realizado, TAG de la Válvula, tipo de válvula, equipo, planta en la que se encuentra, banco en el cual fue realizado el ensayo, marca, entre otros antecedentes emitidos por el certificado correspondiente al momento de finalizar las pruebas correspondientes.

Certificado	Fecha	Tag	Pasa?	Equipo	Planta	Banco	Marca	Serie	Tipo	Apertura	Setting	% Sobre-presión
8245	26-04-2021	PSV-751-A	Sobre-presión	F-701	HCK	banco erbb	Consolidated	CO-1206	Balance ada	245,023	186	31,73
8050	08-02-2021	PSV-100	Sobre-presión	Corriente A	CHT	banco erbb	Farris	310004-1-A10	Convencional	256,989	196	31,12
7820	07-08-2020	14PSV-146	Sobre-presión	D-1412	COK	banco erbb	Hydint	150/150-RF	Convencional	126,999	92	38,04
7820	07-08-2020	14PSV-146	Sobre-presión	D-1412	COK	banco erbb	Hydint	150/150-RF	Convencional	126,999	92	38,04
7670	14-07-2020	16PSV-602	Sobre-presión	D-1660	SRU	banco erbb	Farris	321235-2-A10	Convencional	110,138	75	46,85
7669	14-07-2020	16PSV-601	Sobre-presión	D-1660	SRU	banco erbb	Farris	321235-1-A10	Convencional	100,167	75	33,56
7650	09-07-2020	15PSV-523-B	Sobre-presión	E-C-1502 B	HDT	banco erbb	Kunkle	23524	Convencional	130,897	99,9998	30,90
7646	09-07-2020	14PSV-204	Sobre-presión	C-1401 E1A	COK	banco erbb	A. Greenwod	96-98340	Convencional	111,135	74,999	48,18
7567	14-03-2020	PSV-1840	Sobre-presión	G-1840	CRL	banco erbb	Consolidated	TK-23512	Balance ada	125,548	90	39,50
7478	07-01-2020	08PSV-893	Sobre-presión		CHB B	banco erbb	ARI Armature n	A 07398609	Convencional	114,399	87	31,49
7407	08-11-2019	19PSV-250	Sobre-presión	J-1902	HDS-2	banco erbb	Fisher	RVO4959 21600	Balance ada	79,0456	60	31,74
7155	28-03-2019	SV-243	Sobre-presión	F-214	VIS	banco erbb	Consolidated	TK-54053	Convencional	52,1229	38	37,17
6879	15-11-2017	01PSV-905	Sobre-presión		HDG	banco erbb	Consolidated	CO-6853	Balance ada	390,061	284	37,35
6799	08-11-2017	01PSV-939-B	Sobre-presión		HDG	banco erbb	Econ	153722	Convencional	88,6543	64	38,52
6788	07-11-2017	SV-157	Sobre-presión	G-150	CRL	banco erbb	Crosby	46238	Convencional	542,713	397	36,70
6694	30-10-2017	PSV-102-B	Sobre-presión	E-100 B	URL	banco erbb	A. Greenwod	00/19757	Pilotada	49,6754	38	30,72
6689	30-10-2017	PSV-173	Sobre-presión	J-167 /S	CRL	banco erbb	Leser	93.13916.4	Convencional	41,1545	30	37,18
6657	25-10-2017	SV-115-A	Sobre-presión	C-104	CRL	banco erbb	Crosby	64514-M-4	Convencional	265,419	196	35,42
6650	25-10-2017	SV-109-A	Sobre-presión	JT-105	CRL	banco erbb	Crosby	42903	Convencional	103,793	76	36,57
6628	23-10-2017	SV-181	Sobre-presión	E-182	CRL	banco erbb	Consolidated	TC 29088	Convencional	29,4608	21	40,29
6593	19-10-2017	PSV-5803-B	Sobre-presión	F-585	SPP	banco erbb	AST	980820	Balance ada	451,339	327	38,02
6571	18-10-2017	PSV-5826	Sobre-presión	CL-596	SPP	banco erbb	AST	981009	Convencional	66,4454	50	32,89
6567	17-10-2017	SV-104-A	Sobre-presión	C-100-B	CRL	banco erbb	Kunkle		Convencional	20,4866	15	36,58
6566	17-10-2017	SV-105-B	Sobre-presión	C-100-B	CRL	banco erbb	Hydro Seal	(0913 - 9502)	Convencional	66,9893	50	33,98
6301	04-04-2017	12PSV-607	Sobre-presión	C-725	HCK	banco erbb	Consolidated	TN-98741	Convencional	126,636	97	30,55
6197	31-03-2017	16PSV-202	Sobre-presión	D-1621	SWU -3	banco erbb	Sapag	282682	Convencional	114,761	87	31,91
6194	31-03-2017	PSV-679-A	Sobre-presión	E-404	TV-2	banco erbb	Consolidated	TM-67734-M	Pilotada	54,933	41	33,98
6098	24-03-2017	PSV-687	Sobre-presión	F-665	CCR	banco erbb	Consolidated	TN-37449	Convencional	322,89	227	42,24
5745	04-03-2016	SV-1385	Sobre-presión	G-1384	MER OX	banco erbb	Farris	SR-1335-31	Balance ada	146,035	100	46,04
5676	17-11-2015	SV-4001	Sobre-presión	10P-16822	MOP	banco erbb	Consolidated		Convencional	234,417	175	33,95
5438	16-05-2015	RV-12159	Sobre-presión	J-1201-C1A	MHC	banco erbb	Consolidated	TN-40423	Convencional	226,44	171	32,42
5313	09-05-2015	PSV-855	Sobre-presión	C-861	CHB B	banco erbb	A. Greenwod	TO4-03896	Balance ada	265,872	196	35,65
5305	09-05-2015	PSV-867	Sobre-presión	D-850 A	CHB B	banco erbb	Consolidated	TN-64497	Balance ada	839,043	586	43,18
5259	29-03-2015	PSV-N*1	Sobre-presión		MOP	banco erbb	Fushman	304687 G	Convencional	35,5342	24	48,06
5258	29-03-2015	PSV-N*3	Sobre-presión		MOP	banco erbb	Fushman	B2181P	Convencional	32,5428	25	30,17
5217	23-03-2015	15PSV-523-B	Sobre-presión	E-C-1502 B	HDT	banco erbb	Kunkle	23524	Convencional	138,964	100	38,96
5074	17-03-2015	PSV-1224	Sobre-presión	C-818 B	CHT	banco erbb	Crosby	VA 0150025-01	Convencional	860,346	625	37,66

5032	15-03-2015	16PSV-16326	Sobre-presión	T-1602	MDE A-2	banco erbb	Farris	325254-A-11	Balance ada	70,3433	50	40,69
5027	15-03-2015	16PSV-16055	Sobre-presión	E-1631	SWU -2	banco erbb	Farris	325252-A-11	Balance ada	59,0123	45	31,14
5016	14-03-2015	16PSV-602	Sobre-presión	D-1660	SRU	banco erbb	Farris	321235-2-A10	Convencional	112,314	75	49,75
5015	14-03-2015	16PSV-601	Sobre-presión	D-1660	SRU	banco erbb	Farris	321235-1-A10	Convencional	99,6228	75	32,83
5011	14-03-2015	PSV-708	Sobre-presión	Tope F-802	CHT	banco erbb	Farris	30996-1-KC	Convencional	292,704	218	34,27
4995	14-03-2015	19PSV-103	Sobre-presión	C-1904 / C-1907	HDS-2	banco erbb	Consolidated	V-37668	Balance ada	306,936	235	30,61
8129	01-03-2021	PSV-842-A	Sobre-presión	Prensa J-801 A	CHT	banco erbb	Greenwood	95 / 41385	Convencional	39,6134	15	164,09
8111	24-02-2021	PSV-1614	Sobre-presión	Agua C-814	CHT	banco erbb	Farris	310562-4-KC	Convencional	157,003	100	57,00
7869	12-08-2020	SV-4	Sobre-presión	F-4	TV-1	banco erbb	Crosby	42531	Convencional	152,108	100	52,11
7602	27-04-2020	PSV-698	Sobre-presión	C-455 X	TV-2	banco erbb	Consolidated	TM-70500	Convencional	127,452	50	154,90
7600	27-04-2020	PSV-696	Sobre-presión	C-453 X	TV-2	banco erbb	Consolidated	TM-70497	Convencional	121,469	50	142,94
7408	08-11-2019	19PSV-251	Sin-setting	J-1902	HDS-2	banco erbb	Fisher	RVO495921400	Balance ada	16,8607	5	237,21
7246	15-05-2019	SV-JT-1001-B	Sobre-presión	JT-1001 B	SUM	banco erbb	Kunkle	Centinela	Convencional	107,509	55	95,47
7019	02-10-2018	SV-1017	Sobre-presión	J-1154	SUM	banco erbb	Consolidated	TB-92260	Convencional	187,008	110	70,01
6845	10-11-2017	16PSV-16350	Sobre-presión	F-1601	MDE A-2	banco erbb	Farris	325256-M	Convencional	270,495	150	80,33
6796	07-11-2017	01PSV-194	Sobre-presión	C-194	HDG	banco erbb	Consolidated	TN-98727	Convencional	267,776	171	56,59
6796	07-11-2017	01PSV-194	Sobre-presión		HDG	banco erbb	Consolidated	TN-98727	Convencional	267,776	171	56,59
6758	04-11-2017	PSV-1840	Sobre-presión	G-1840	CRL	banco erbb	Consolidated	TK-23512	Balance ada	168,244	90	86,94
6714	02-11-2017	PSV-161	Sobre-presión	F-154	URL	banco erbb	Consolidated	TM-46848	Convencional	457,413	279	63,95
6670	26-10-2017	16PSV-16008	Sobre-presión	F-1631	SWU -2	banco erbb	Farris	325250-A-11	Balance ada	77,1419	45	71,43
5777	11-03-2016	SV-J-1375-A	Pasa	J-1375	MER OX	banco erbb	Kunkle		Convencional	152,562	60	154,27
5443	16-05-2015	RV-12183	Sobre-presión	C-1230 L.Tubos	MHC	banco erbb	Consolidated	TN-40425	Convencional	173,683	109	59,34
4376	18-03-2015	14PSV-142	Pasa	E-1423	COK	Manua l	Hydint	300/150-RF	Convencional	331	200	65,50
5010	14-03-2015	19PSV-102	Sobre-presión	J-1905	HDS-2	banco erbb	Sapag	303672	Convencional	208,582	114	82,97
5005	14-03-2015	PSV-506	Sobre-presión	Tope E-802	CHT	banco erbb	Farris	327098-A-11-R	Balance ada	81,5837	50	63,17

Tabla 3. Tabla General de Sobre-Presiones PSV's

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.2.3 Resultados del Análisis histórico

5.2.3.1 Válvulas Sobre-Presión en un 30%

En la siguiente tabla podremos observar los resultados obtenidos gracias al correcto análisis de todas aquellas Válvulas de Seguridad que presentaron una sobre-presión del 30% a lo largo del historial de ensayos realizados; Posteriormente la tabla con respecto al rango del año 2015 a la fecha. Junto con ello se destacan aquellas Válvulas que presentaron en más de

una oportunidad sobre-presión dentro de los criterios solicitados, más el detalle las especificaciones técnicas de cada una de ellas.

Tabla General Sobre-presión 30%				
Tag	Cantidad de ensayos realizados	Cantidad de veces sobre-presión	Sobre-presión mas alta	Fecha
PSV-751-A	9	1	31,73%	26-04-2021
01PSV-905	7	1	37,34%	15-11-2017
01PSV-939-B	4	1	38,52%	08-11-2017
04PSV-453-X	6	1	44,23%	03-04-2007
04PSV-470	3	1	45,63%	03-04-2007
08PSV-893	6	1	31,49%	07-01-2020
12PSV-607	2	1	30,55%	04-04-2017
14PSV-146	20	1	38,04%	07-08-2020
14PSV-204	17	1	48,18%	09-07-2020
14PSV-205	14	2	46,00%	23-05-2010
15PSV-523-A	11	1	43,04%	20-05-2010
15PSV-523-B	11	3	49,29%	20-05-2010
15PSV-951	13	1	42,44%	20-05-2010
15PSV-952	13	1	42,59%	25-03-2013
16PSV-16055	11	1	31,13%	15-03-2015
16PSV-16326	11	1	40,68%	15-03-2015
16PSV-16371	7	1	36,01%	24-04-2010
16PSV-202	6	1	31,90%	31-03-2017
16PSV-601	8	2	33,55%	14-07-2020
16PSV-602	8	2	49,75%	14-03-2015
16PSV-606	3	1	47,75%	13-05-2010
16PSV-805	6	1	31,12%	08-12-2009
16RV-1645-B	8	1	35,97%	07-12-2009
19PSV-1002	7	1	41,41%	02-05-2010
19PSV-1003	3	1	31,69%	15-04-2010
19PSV-103	6	1	30,61%	14-03-2015
19PSV-250	4	1	31,74%	08-11-2019
19PSV-509	7	1	43,95%	02-05-2010
PSV-100	11	1	31,11%	08-02-2021
PSV-102-B	9	1	30,72%	30-10-2017
PSV-105	7	1	46,35%	15-01-2009
PSV-111	13	1	30,05%	05-10-2009
PSV-1224	13	1	37,65%	17-03-2015
PSV-1301	4	1	45,97%	13-05-2010
PSV-1412	7	1	30,08%	08-10-2008
PSV-173	6	1	37,18%	30-10-2017
PSV-1840	11	1	39,49%	14-03-2020
PSV-306S	9	1	30,08%	10-10-2013
PSV-365	9	1	30,17%	10-10-2013
PSV-5803-B	7	1	38,02%	19-10-2017
PSV-5826	5	1	32,89%	18-10-2017
PSV-679-A	7	1	33,98%	31-03-2017
PSV-687	10	1	42,24%	24-03-2017
PSV-690-B	6	1	32,11%	10-12-2007
PSV-708	9	1	34,26%	14-03-2015
PSV-730J	7	1	35%	10-06-2005
PSV-842-A	8	1	34,16%	10-10-2008

PSV-855	11	1	35,64%	09-05-2015
PSV-867	10	1	43,18%	09-05-2015
PSV-977	6	1	34,33%	15-04-2010
PSV-JJ1-701	4	1	47,83%	04-05-2010
PSV-N°1	5	1	48,05%	29-03-2015
PSV-N°3	5	1	30,17%	29-03-2015
RV-12156	7	1	43,43%	03-12-2009
RV-12159	7	1	32,42%	16-05-2015
RV-T-4000-1	16	1	34,26%	25-10-2010
SV-1007	2	1	33,33%	02-08-1971
SV-104-A	11	1	36,57%	17-10-2017
SV-105-B	8	2	44,13%	24-05-2010
SV-109-A	18	1	36,56%	25-10-2017
SV-115-A	14	1	35,41%	25-10-2017
SV-1385	4	1	46,03%	04-03-2016
SV-1387	5	1	38,45%	02-05-2010
SV-157	16	1	36,70%	07-11-2017
SV-163-A	7	3	40%	18-08-2008, 05-05-2002, 09-04-1994
SV-181	26	1	40,28%	23-10-2017
SV-225-A	13	1	33,87%	03-11-2014
SV-225-B	10	1	40,08%	03-11-2014
SV-243	6	1	37,16%	28-03-2019
SV-4001	18	1	33,95%	17-11-2015
SV-410	10	1	38,12%	07-05-2010
SV-440	10	1	36,24%	29-03-2013
SV-441	12	1	32%	20-04-1993
SV-JT-1208	7	1	37,42%	16-01-2014
TRV-12038-A	7	1	32,02%	03-12-2009
Total= 75				

Tabla 4. Tabla General de Sobre-Presiones 30%

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

2015 en adelante							
Tag	Planta	Cantidad de ensayos realizados	Cantidad de veces sobre-presión	Setting	Apertura	Sobre-presión más alta	Fecha
PSV-751-A	HCK	9	1	186	245,02	31,73%	26-04-2021
PSV-100	CHT	11	1	196	256,98	31,11%	08-02-2021
14PSV-146	COK	20	1	92	126,99	38,04%	07-08-2020
16PSV-601	SRU	8	2	75	100,16	33,55%	14-07-2020
14PSV-204	COK	17	1	75	111,13	48,18%	09-07-2020
PSV-1840	CRL	11	1	90	125,54	39,49%	14-03-2020
08PSV-893	CHBB	6	1	87	114,39	31,49%	07-01-2020
19PSV-250	HDS-2	4	1	60	79,04	31,74%	08-11-2019
SV-243	VIS	6	1	38	52,12	37,16%	28-03-2019
01PSV-905	HDG	7	1	284	390,06	37,34%	15-11-2017
01PSV-939-B	HDG	4	1	64	88,65	38,52%	08-11-2017
SV-157	CRL	16	1	397	542,71	36,70%	07-11-2017
PSV-102-B	URL	9	1	38	49,67	30,72%	30-10-2017
PSV-173	CRL	6	1	30	41,15	37,18%	30-10-2017
SV-109-A	CRL	18	1	76	103,79	36,56%	25-10-2017
SV-115-A	CRL	14	1	196	265,41	35,41%	25-10-2017

SV-181	CRL	26	1	21	29,46	40,28%	23-10-2017
PSV-5803-B	SPP	7	1	327	451,33	38,02%	19-10-2017
PSV-5826	SPP	5	1	50	66,44	32,89%	18-10-2017
SV-104-A	CRL	11	1	15	20,48	36,57%	17-10-2017
12PSV-607	HCK	2	1	97	126,63	30,55%	04-04-2017
16PSV-202	SWU-3	6	1	87	114,76	31,90%	31-03-2017
PSV-679-A	TV-2	7	1	41	54,93	33,98%	31-03-2017
PSV-687	CCR	10	1	227	322,89	42,24%	24-03-2017
SV-1385	MERO X	4	1	100	146,03	46,03%	04-03-2016
SV-4001	MOP	18	1	175	234,41	33,95%	17-11-2015
RV-12159	MHC	7	1	171	226,44	32,42%	16-05-2015
PSV-855	CHBB	11	1	196	265,87	35,64%	09-05-2015
PSV-867	CHBB	10	1	586	839,04	43,18%	09-05-2015
PSV-N°1	MOP	5	1	24	35,53	48,05%	29-03-2015
PSV-N°3	MOP	5	1	25	32,54	30,17%	29-03-2015
PSV-1224	CHT	13	1	625	860,34	37,65%	17-03-2015
16PSV-16055	SWU-2	11	1	45	59,01	31,13%	15-03-2015
16PSV-16326	MDEA-2	11	1	50	70,34	40,68%	15-03-2015
16PSV-602	SRU	8	2	75	112,31	49,75%	14-03-2015
19PSV-103	HDS-2	6	1	235	306,93	30,61%	14-03-2015
PSV-708	CHT	9	1	218	292,7	34,26%	14-03-2015
Total=37							

Tabla 5. Tabla de Sobre-Presiones 30%, 2015 a la fecha

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.2.3.2 Grafica en base a los resultados obtenidos.

La presente grafica representa los resultados obtenidos del análisis a Válvulas que arrojaron sobre-presión en un 30 %

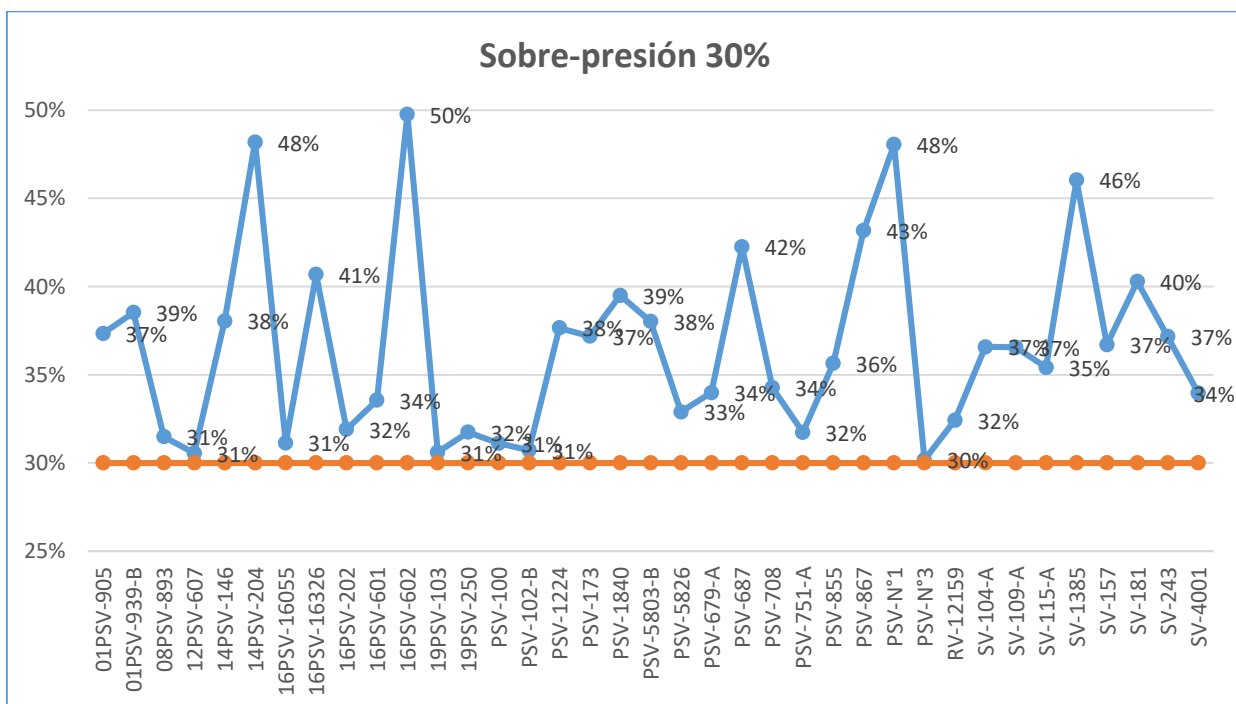


Grafico 1. Sobre-Presiones 30%, 2015 a la fecha.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.2.3.3 Válvulas Sobre-Presión en un 50% y 150%

En la siguiente tabla podremos observar los resultados obtenidos gracias al correcto análisis de todas aquellas Válvulas de Seguridad que presentaron una sobre-presión del 50% y 150% a lo largo del historial de ensayos realizados; Posteriormente la tabla con respecto al rango del año 2015 a la fecha. Junto con ello se destacan aquellas Válvulas que presentaron en más de una oportunidad sobre-presión dentro de los criterios solicitados, más el detalle las especificaciones técnicas de cada una de ellas.

Tabla Resumen Sobre-presión 50%				
Tag	Cantidad de ensayos realizados	Cantidad de veces sobre-presión	Sobre-presión mas alta	Fecha
01PSV-194	8	1	56,59%	07-11-2017
01PSV-918	8	1	258,48%	07-05-2010
01PSV-919	16	1	259,57%	07-05-2010
14PSV-204	17	1	99,06%	23-05-2010
15PSV-952	13	1	74,24%	20-05-2010
16PSV-16008	12	1	71,42%	26-10-2017
16PSV-16350	12	1	80,33%	10-11-2017
16PSV-607	3	1	100,71%	13-05-2010
16PSV-807	9	1	55,15%	28-04-2010
16RV-1651	11	1	203,35%	07-04-2010
19PSV-102	7	2	1101,49%	15-04-2010
19PSV-251	3	1	237,21%	08-11-2019
19PSV-507	7	1	56,82%	15-04-2010
19PSV-602	8	1	89,65%	15-04-2010
PSV-1304	23	1	51,75%	03-04-2010
PSV-161	10	1	63,94%	02-11-2017
PSV-1614	8	1	57,00%	24-02-2021
PSV-172	5	1	659,25%	20-03-2005
PSV-174	10	1	944,44%	20-03-2005
PSV-1835-B	5	1	311,38%	20-05-2010
PSV-1835-C	8	1	71,20%	04-12-2012
PSV-1840	11	1	86,93%	04-11-2017
PSV-1841	5	1	222,34%	13-05-2010
PSV-264	9	1	50%	14-12-2009
PSV-355	9	1	144,51%	17-03-2009
PSV-362	7	1	127,14%	16-03-2009
PSV-4000	4	1	60,80%	04-12-2009
PSV-502	10	1	71,93%	30-07-2014
PSV-506	10	1	63,16%	14-03-2015
PSV-608	1	1	1278,57%	07-08-1998
PSV-696	8	2	146,92%	15-04-2010
PSV-697	6	1	467,27%	07-05-2010
PSV-698	6	1	154,90%	27-04-2020
PSV-704	4	1	238,48%	07-05-2010
PSV-706	6	1	376,51%	03-05-2010
PSV-842-A	8	1	164,08%	01-03-2021
PSV-853	10	1	74,22%	05-10-2009

PSV-854	8	1	61,26%	05-10-2009
PSV-873-B	4	1	56,33%	25-04-2010
PSV-980	7	1	51,42%	15-04-2010
RV-12183	7	1	59,34%	16-05-2015
SV-1017	12	1	70%	02-10-2018
SV-112-A	5	1	52,63%	08-04-1988
SV-117	8	3	250%	11-04-1994, 15-05-2002, 06-06-2008
SV-167-A	2	1	88,57%	26-02-1982
SV-168	6	1	66,29%	24-05-2010
SV-206	15	1	108,49%	20-04-2010
SV-244	8	1	53,92%	23-04-2010
SV-3001	10	1	330,66%	02-06-2008
SV-3600	3	1	50%	19-12-1988
SV-4	13	1	52,10%	12-08-2020
SV-404	13	1	68,06%	07-04-2010
SV-405	15	1	120%	05-07-1972
SV-75	10	4	88%	08-03-1994, 20-10-1996, 21-03-1999, 08-12-2008
SV-81	16	1	50,23%	07-11-2011
SV-8110	2	1	51,08%	07-01-2013
SV-J-1375-A	3	1	154,27%	11-03-2016
Total= 57				

Tabla 6. Tabla General, sobre-presiones 50% y 150%.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

2015 en adelante							
Tag	Planta	Cantidad de ensayos	Cantidad de veces sobre-presión	Setting	Apertura	Sobre-presión mas alta	Fecha
19PSV-251	HDS-2	3	1	5	16,86	237,21%	08-11-2019
PSV-842-A	CHT	8	1	15	39,61	164,08%	01-03-2021
PSV-698	TV-2	6	1	50	127,45	154,90%	27-04-2020
SV-J-1375-A	MEROX	3	1	60	152,56	154,27%	11-03-2016
PSV-1840	CRL	11	1	90	168,24	86,93%	04-11-2017
16PSV-16350	MDEA-2	12	1	150	270,49	80,33%	10-11-2017
16PSV-16008	SWU-2	12	1	45	77,14	71,42%	26-10-2017
SV-1017	SUM	12	1	110	187,01	70%	02-10-2018
PSV-161	URL	10	1	279	457,41	63,94%	02-11-2017
PSV-506	CHT	10	1	50	81,58	63,16%	14-03-2015
RV-12183	MHC	7	1	109	173,68	59,34%	16-05-2015
PSV-1614	CHT	8	1	100	157,01	57,00%	24-02-2021
01PSV-194	HDG	8	1	171	267,77	56,59%	07-11-2017
SV-4	TV-1	13	1	100	152,1	52,10%	12-08-2020
Total= 14							

Tabla 7. Tabla de Sobre-Presiones 50% y 150%, 2015 a la fecha.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.2.3.4 Grafica en base a los resultados obtenidos.

La presente grafica representa los resultados obtenidos del análisis a Válvulas que arrojaron sobre-presión en un 50 y 150%.

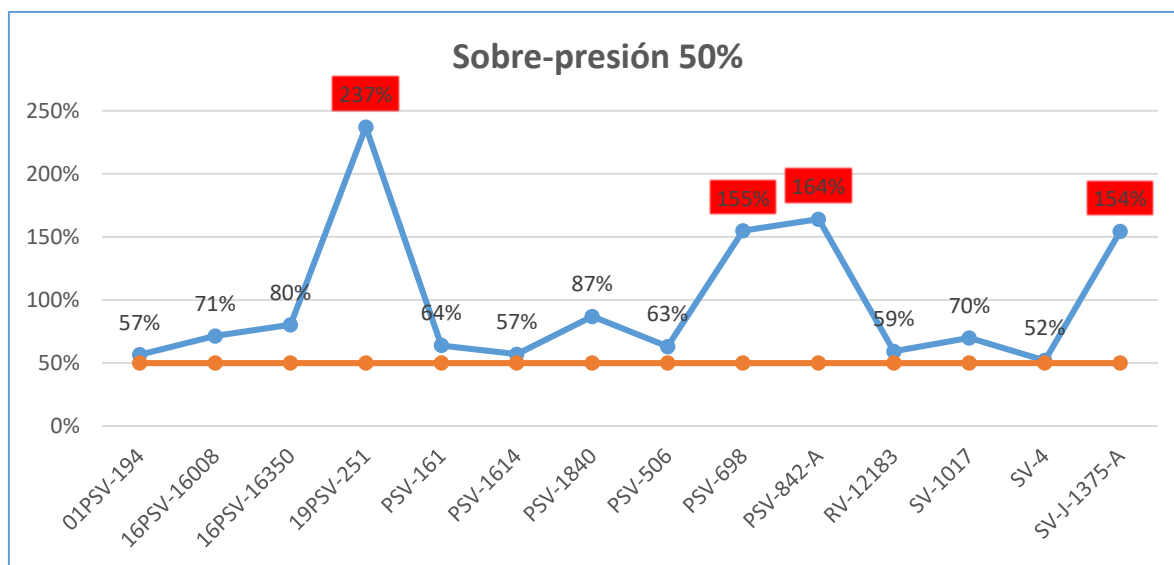


Grafico 2. Grafica de Sobre-Presiones 50% y 150%, 2015 a la fecha.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Se destacan aquellos valores superiores al 150% de Sobre-Presión.

5.2.4 Resultados Finales a Histórico de Ensayos

Luego del análisis generado al historial consolidado a Válvulas de Seguridad de ENAP – Refinería Bío Bío, se puede apreciar el resultado obtenido del total de ensayos realizados a válvulas, que superan la sobre-presión de un 30%, 50% junto con las válvulas que superan el 150% dentro de un periodo de inspección y mantención anual.

Cada una de las presentes válvulas de presión fue identificada y sometida a un análisis según los registros y antecedentes encontrados en el software SVGS, para la obtención de los resultados ilustrados en la siguiente gráfica.

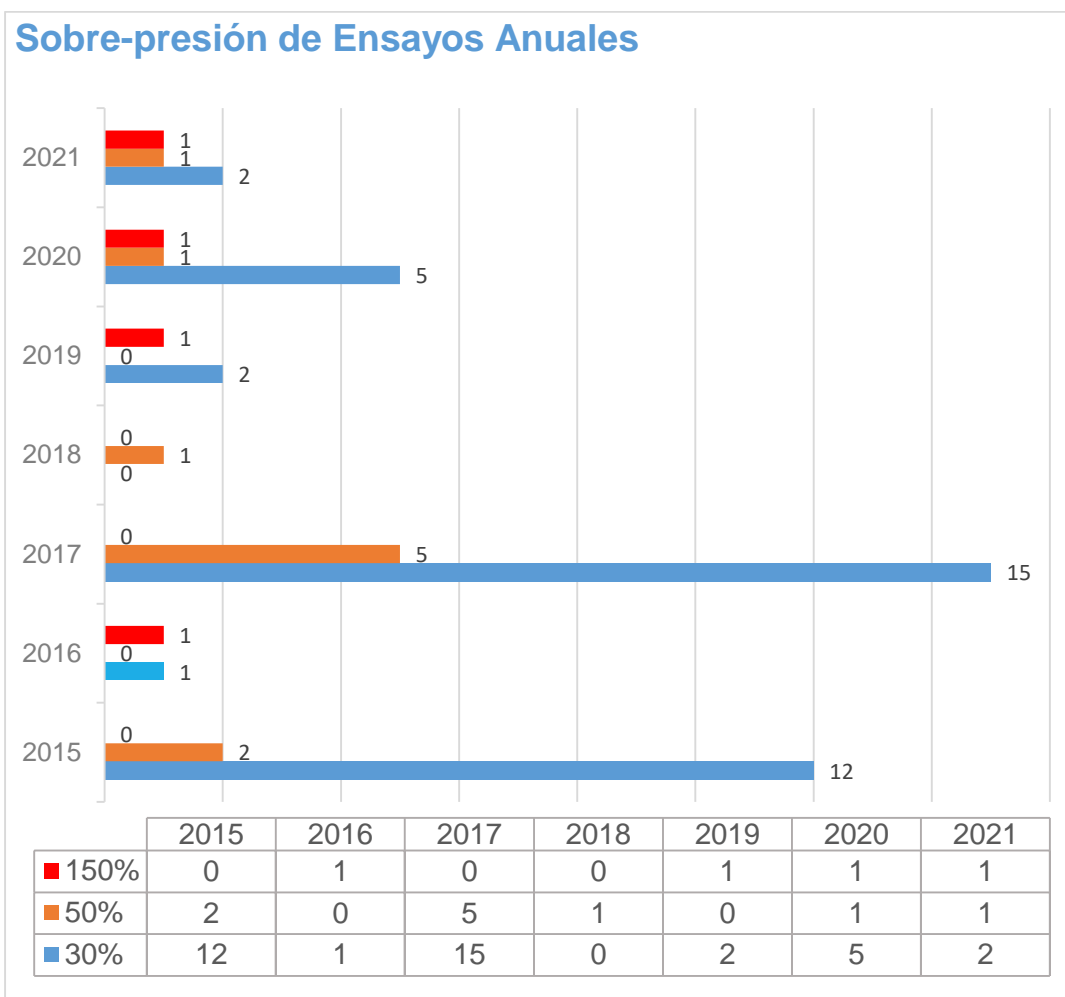


Grafico 3. Resumen Anual de Válvulas Sobre-Presión.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.3 Análisis de datos

El estudio, como fue mencionado anteriormente, se limita al análisis de ensayos de válvulas que han presentado un porcentaje de sobre-presión bajo el criterio de la norma “API 576 2009”, que se encuentran en diferentes plantas dentro de las instalaciones de ERBB, esto con el objetivo de presentar una propuesta de mejora en los procedimientos de mantenimiento a válvulas.

Luego de clasificar los datos y registros otorgados por los ingenieros de mantenimiento de la División Mecánica (Departamento de Mantención), se procederá a agrupar las válvulas con potencial porcentaje de fallas según las plantas a las cuales pertenecen, otorgando algunos detalles de su inspección, para jerarquizar riesgos de acuerdo a las operaciones de cada una y proceder a asignar un factor de criticidad según corresponda.

5.3.1 Resumen de válvulas inspeccionadas, agrupadas por plantas

Planta	TAG	N° de ensayos	N° de veces sobre-presión	Setting	Apertura	Sobre-presión mas alta	Fecha
CCR	PSV-687	10	1	227	322,89	42,24%	24-03-2017
CHBB	08PSV-893	6	1	87	114,39	31,49%	07-01-2020
	PSV-855	11	1	196	265,87	35,64%	09-05-2015
	PSV-867	10	1	586	839,04	43,18%	09-05-2015
CHT	PSV-842-A	8	1	15	39,61	164,08%	01-03-2021
	PSV-506	10	1	50	81,58	63,16%	14-03-2015
	PSV-1614	8	1	100	157,01	57,00%	24-02-2021
	PSV-100	11	1	196	256,98	31,11%	08-02-2021
	PSV-1224	13	1	625	860,34	37,65%	17-03-2015
	PSV-708	9	1	218	292,7	34,26%	14-03-2015
COK	14PSV-146	20	1	92	126,99	38,04%	07-08-2020
	14PSV-204	17	1	75	111,13	48,18%	09-07-2020
CRL	PSV-1840	11	1	90	168,24	86,93%	04-11-2017
	PSV-1840	11	1	90	125,54	39,49%	14-03-2020
	SV-157	16	1	397	542,71	36,70%	07-11-2017
	PSV-173	6	1	30	41,15	37,18%	30-10-2017
	SV-109-A	18	1	76	103,79	36,56%	25-10-2017
	SV-115-A	14	1	196	265,41	35,41%	25-10-2017
	SV-181	26	1	21	29,46	40,28%	23-10-2017
	SV-104-A	11	1	15	20,48	36,57%	17-10-2017
HCK	PSV-751-A	9	1	186	245,02	31,73%	26-04-2021
	12PSV-607	2	1	97	126,63	30,55%	04-04-2017
HDG	01PSV-194	8	1	171	267,77	56,59%	07-11-2017
	01PSV-905	7	1	284	390,06	37,34%	15-11-2017
	01PSV-939-B	4	1	64	88,65	38,52%	08-11-2017
HDS-2	19PSV-251	3	1	5	16,86	237,21%	08-11-2019
	19PSV-250	4	1	60	79,04	31,74%	08-11-2019
	19PSV-103	6	1	235	306,93	30,61%	14-03-2015
MDEA-2	16PSV-16350	12	1	150	270,49	80,33%	10-11-2017
	16PSV-16326	11	1	50	70,34	40,68%	15-03-2015
MEROX	SV-J-1375-A	3	1	60	152,56	154,27%	11-03-2016
	SV-1385	4	1	100	146,03	46,03%	04-03-2016
MHC	RV-12183	7	1	109	173,68	59,34%	16-05-2015
	RV-12159	7	1	171	226,44	32,42%	16-05-2015
MOP	SV-4001	18	1	175	234,41	33,95%	17-11-2015
	PSV-N°1	5	1	24	35,53	48,05%	29-03-2015
	PSV-N°3	5	1	25	32,54	30,17%	29-03-2015
SPP	PSV-5803-B	7	1	327	451,33	38,02%	19-10-2017
	PSV-5826	5	1	50	66,44	32,89%	18-10-2017
SRU	16PSV-601	8	2	75	100,16	33,55%	14-07-2020
	16PSV-602	8	2	75	112,31	49,75%	14-03-2015
SUM	SV-1017	12	1	110	187,01	70%	02-10-2018
SWU-2	16PSV-16008	12	1	45	77,14	71,42%	26-10-2017
	16PSV-16055	11	1	45	59,01	31,13%	15-03-2015
SWU-3	16PSV-202	6	1	87	114,76	31,90%	31-03-2017
TV-1	SV-4	13	1	100	152,1	52,10%	12-08-2020

TV-2	PSV-698	6	1	50	127,45	154,90%	27-04-2020
	PSV-679-A	7	1	41	54,93	33,98%	31-03-2017
URL	PSV-161	10	1	279	457,41	63,94%	02-11-2017
	PSV-102-B	9	1	38	49,67	30,72%	30-10-2017
VIS	SV-243	6	1	38	52,12	37,16%	28-03-2019

Tabla 8. Resumen Válvulas Por Planta.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.4 Análisis de criticidad a líneas de activos.

En el análisis de criticidad, se cuantifica la importancia de realizar un apropiado mantenimiento a las válvulas que han presentado sobre-presión en estudio. De esta manera, será posible exigir un grado de cumplimiento de las tareas que serán asignadas en la etapa de toma de decisiones.

Para ello se utilizan los criterios establecidos en la siguiente tabla, según el proceso y funcionamiento de cada planta, se logra asignar un factor de criticidad a cada una de ellas según su importancia en los procesos de activos.

La criticidad se determinará del producto entre la frecuencia de ocurrencia (sobre-presión), y las consecuencias producidas por fallos. Esto se determinará bajo los registros obtenidos en el estudio.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

En esta primera etapa se analizará la criticidad de las plantas donde se encuentran las distintas válvulas, solo con la finalidad de agruparlas y jerarquizar según la línea crítica. Cabe mencionar que los criterios son apropiados a la magnitud del sistema y fluidos asociados a sus funciones.

5.4.1 Frecuencia con la que se presenta un evento indeseado

Categoría	Frecuencia f	Descripción
5	$f > 52$	Probable que ocurra más de una vez a la semana
4	$12 > f > 52$	Puede ocurrir mensual como semanalmente
3	$2 > f > 12$	Puede ocurrir semestral como mensualmente
2	$1 > f > 2$	Puede ocurrir anual como semestralmente
1	$f < 0.1$	Puede ocurrir cada 1 década.

Tabla 9. Frecuencia a Modos de Falla

Fuente: RCM II Moubray

5.4.2 Impacto de las consecuencias para la determinación de la criticidad

Categoría	Seguridad del personal	Medio Ambiente	Producción	Costo Mantenimiento	Tiempo de detención
5	Muerte o incapacidad permanente, en uno o más trabajadores.	Daños irreversibles al medio ambiente infringiendo leyes.	Impacto total en la producción. Detención general de planta.	Costo de mantenimiento muy elevado	Más de 14 días
4	Incapacidad parcial, heridas severas en uno o más trabajadores.	Daños irreversibles al medio ambiente, pero sin infringir leyes medio ambientales.	Impacto de un 75% en la producción. Detención local de planta.	Costo de mantenimiento por encima de lo normal (aceptable)	Entre 10 y 14 días.
3	Daños y enfermedades severas en varias personas, requiere detención del trabajo	Daños ambientales corregibles sin infringir leyes medio ambientales.	Impacto del 50% en la producción. Detención de la línea.	Costo de mantenimiento igual a lo normal (aceptable)	Entre 5 y 10 días
2	Personal requiere de tratamiento médico o primeros auxilios.	Daños mínimos sin infringir leyes medio ambientales	Impacto del 25% o menos en la producción. Aislación del equipo.	Costo de mantenimiento inferior a lo normal (aceptable)	Entre 1 y 5 días
1	Sin impacto en la seguridad del trabajador	Sin daños medio ambientales	No afecta la producción	Muy bajo costo de mantenimiento	Menos de 24 horas.

Tabla 10. Impacto de Consecuencias.

Fuente: Elaboración Modificada para Memoria

Debe tenerse en cuenta que el tiempo de detención considera desde que el equipo se detiene hasta que vuelve a ser puesto en marcha. En la siguiente imagen, se muestra de modo esquemático la comparación entre el tiempo de detención vs el tiempo de reparación de un equipo.

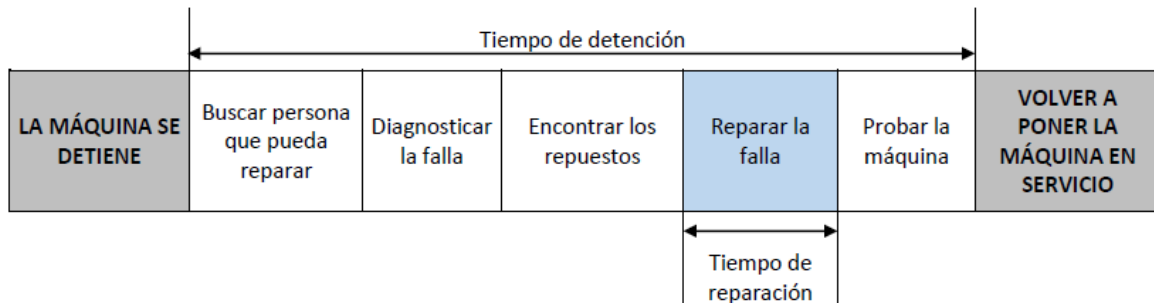


Ilustración 14. Tiempo de Detención V/S Tiempo de Reparación.

Fuente: RCM II Moubray.

En la siguiente tabla se muestra la distribución de criticidades, que corresponde a la sumatoria de los criterios ya mencionados, multiplicados por la frecuencia de los sucesos, permitiendo

así establecer una criticidad. Se establece los rangos en que un equipo puede ser considerado de baja, media o alta criticidad.

Frecuencia	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Impacto																						

- Criticidad alta (Color rojo) $50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$
- Criticidad media (Color amarillo) $30 \leq \text{Criticidad} < 50$
- Criticidad baja (Color verde) $5 \leq \text{Criticidad} < 30$

Ilustración 15. Matriz de Criticidad.

Una vez determinada la criticidad de los equipos, sistemas, componentes, etc., se procede a jerarquizar los equipos de mayor a menor criticidad y analizar los resultados, con la finalidad de minimizar el impacto de las consecuencias asociadas a los modos de falla que interrumpen el funcionamiento normal del activo. Estos resultados deben considerarse en la etapa de toma de decisiones, donde se definen tareas con este mismo fin y en el plan de mantenimiento.

5.4.3 Resultado Análisis de Criticidad a plantas ERBB

Planta	Seguridad Personal	F.F.	Medio Ambiente	F.F.	Producción	F.F.	Costo M.	F.F.	Tiempo Detención	F.F.	Criticidad
CCR	3	2	2	2	3	2	5	2	4	2	34
CHBB	3	3	2	3	3	2	4	2	4	2	37
CHT	3	3	2	3	3	2	4	2	4	2	37
COK	3	3	2	3	3	2	4	2	2	2	33
CRL	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	39
HCK	3	3	2	3	3	2	4	2	3	2	35
HDG	2	2	1	2	2	2	3	2	3	2	22
HDS-2	3	2	2	2	3	2	4	2	3	2	30
MDEA-2	2	2	1	2	2	2	3	2	2	1	18
MEROX	2	2	1	2	2	2	3	2	3	2	22
MHC	2	2	1	2	2	2	3	2	3	2	22
MOP	2	2	1	2	2	2	3	2	2	2	20
SPP	3	3	2	3	3	3	4	3	3	3	45
SRU	2	3	1	3	1	3	3	3	2	3	27
SUM	2	2	1	2	2	2	3	2	2	2	20
SWU-2	2	2	1	2	1	2	3	2	2	2	18
SWU-3	2	2	1	2	1	2	3	2	2	2	18
TV-1	3	3	2	3	5	3	4	3	3	3	51
TV-2	3	3	2	3	5	3	4	3	3	3	51

URL	2	2	1	2	1	2	3	2	3	2	20
VIS	3	3	2	3	3	3	4	3	2	3	42

Ilustración 16. Tabla de Criticidad Plantas.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Al ver la representación de los resultados obtenidos en el análisis de criticidad, podemos observar un mayor grado de criticidad en las plantas de Topping y Vacío I y Topping y Vacío II, ya que como era de esperarse, es la línea productiva más importante dentro del proceso de refinería y porcentaje de activos, ya que es la encargada de recibir el crudo de petróleo y comenzar el proceso de fraccionamiento primario.

Cabe destacar que al igual que la importancia del proceso de la planta, también fue gran factor a la hora de evaluar la criticidad, la frecuencia con las cuales se presentaron dispositivos con fallas, ya que estas pueden ser producidas por falta de mantenimiento dentro de la planta específicamente, como el fluido del circuito, el ambiente y la polución junto con la presencia de partículas en el sector.

Las acciones preventivas irán enfocadas por prioridad en base a los caracteres de criticidad que tengan asociados cada elemento.

5.5 Fallas técnicas y análisis FMECA

Para el desarrollo de esta etapa, es necesario realizar un análisis exhaustivo de las fallas que más frecuente suelen presentarse en una válvula de seguridad, debido a un inadecuado mantenimiento y preservación de la válvula. Para esto, fue de gran ayuda las normas NTP 446 y NTP 509, junto con la experiencia del personal experto en dispositivos de seguridad, esta información será utilizada para generar un conjunto de posibles averías.

En la siguiente tabla se muestra las fallas más comunes de válvulas determinadas por expertos, con la posible causa y solución del problema. De esta manera se cuenta con una herramienta para agilizar el mantenimiento, y que puede ser utilizado como retroalimentación en base a las distintas fallas que se presenten.

5.5.1 Tabla Modo de Fallas en Válvulas de Seguridad

Problema / Efecto	Posible Causa	Solución
No abre a presión de tarado.	Disco adherido al asiento.	Recurrir al manual de mantención del actuador, o remover tapa del actuador y revisar daños en adaptador y acoplamiento con el vástago.
	Acumulación de contaminantes de la línea en asientos	Limpiar asientos, descrito en procedimientos de limpieza rutinaria.

No abre completamente a la presión de alivio	Daño en las superficies deslizantes (eje y guías) debido a vibraciones o corrosión excesiva.	Realizar NDT a equipos para identificar si existe exceso de vibración que daña a la válvula.
Apertura prematura a presión inferior a la de tarado	Resorte descalibrado	Reemplazar partes dañadas, o si fuese necesario el resorte.
	Material extraño dentro del sombrerete que afecta al movimiento de la válvula	Eliminar obstrucción aplicando valve cleaner.
	Fuente de alimentación defectuosa	Revisar que es adecuada para el actuador.
Corrosión interna o externa de elementos y partes.	Material extraño que afecta a los componentes de la válvula	Instalación de filtros en circuito de fluido.
Fuga de fluidos.	Presencia de material extraño entre asiento y bola	Inyectar grasa siguiendo el procedimiento de lubricación adecuado. Ciclar repetidamente para desplazar el material.
	Flanges con falta de torque	Ajustar los flanges adecuadamente.
	Anillos O-ring dañados	Reemplazar anillos, verificar material

Tabla 11. Modo de Falla de Válvulas en Servicio.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.5.2 ISHIKAWA

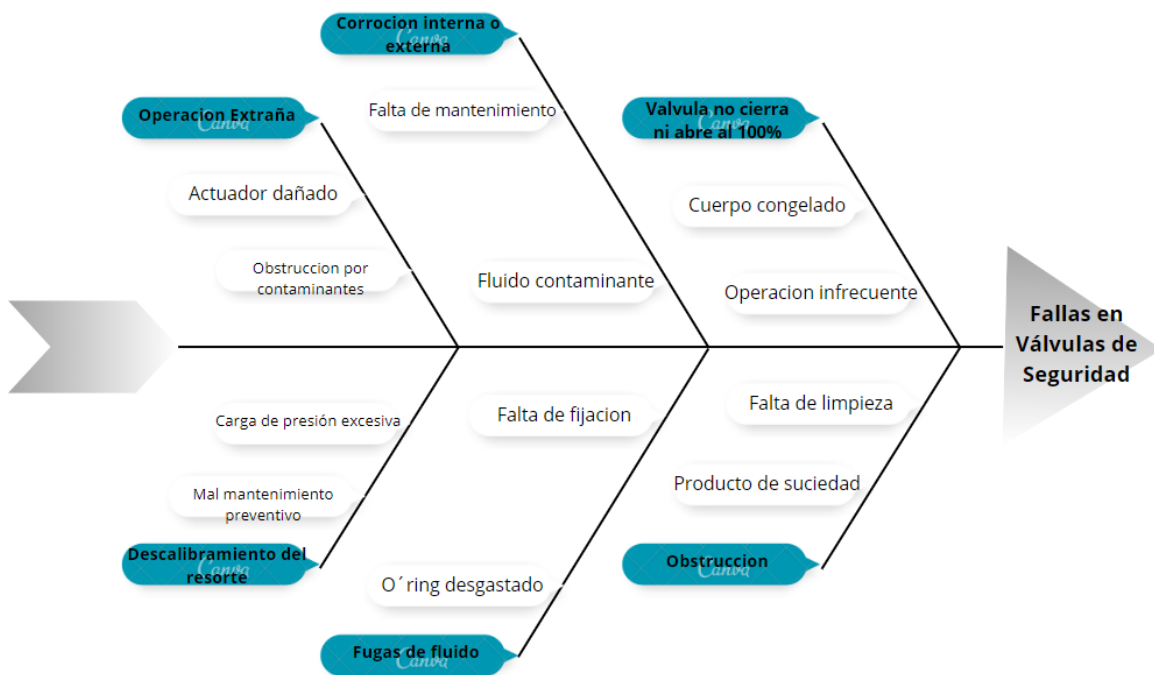


Ilustración 17. Diagrama de Ishikawa Modos de Falla PSV.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.5.3 Análisis de Pareto Modos de Falla PSV.

Dispositivo: Válvula / Componente: Cuerpo											
N.º	Función	#	Falla funcional	N.º	Modo de Falla	Efectos de falla				Posible causa	
						Equipo	Medio ambiente	Seguridad Personal	Producción		
1	Resistir presión del fluido de la línea, y mantener todos los componentes juntos.	A	No resiste la presión	1	Falla sellos	Entre cuerpo y disco queda susceptible a fugas	X		Puede contaminar al trabajador causando daños dependiendo del fluido.	Necesario detener la línea para revisar sellos. Puede interferir en descarga de producto.	Selección de válvula y anillos de empaquetadura no son los adecuados
				2	Grietas	Conlleva a fracturas del cuerpo si no son tratadas a tiempo. Produce vibraciones.	X		Válvula puede fracturarse en cualquier momento desconociendo la magnitud de la grieta, exponiendo al trabajador.	Necesario detener para reparar ó reemplazar la válvula. Pérdidas de producto. Interfiere en descargas de producto.	Selección de válvula y materiales no adecuados. Caídas de la válvula durante comisionamiento.
				3	Corrosión	Comienza a afectar a todos los demás componentes, desgaste de asientos, etc.	X	X		Cuando se vuelve crítica con grandes reducciones de espesores, es necesario detener y reemplazar, pudiendo interferir en descargas de producto.	Fluido contaminado.

Tabla 12. Modo de Falla - Cuerpo de válvula.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Dispositivo: válvula / Componente: Resorte										
N°	Función	#	Falla funcional	N°	Modo de Falla	Efectos de falla				Posible causa
						Equipo	Medio ambiente	Seguridad Personal	Producción	
1	Controlar paso del flujo	A	No cierra o abre completamente	1	Resorte esta descalibrado	El resorte no puede funcionar descalibrado ya que no trabajaría a la presión adecuada para mantener el fluido.	X	X	Necesario detener la línea para calibrar nuevamente el resorte..	Mal calibramiento en mantención anterior.
				2	Corrosión interna	Corrosión interna deja al descubierto huelgos entre cuerpo y componentes, provocando así fugas internas.	X	X	Necesario detener y reemplazar válvula si presenta reducción de espesores muy significativas.	incompatibilidad de materiales.
2	Mantener presión	A	No mantiene la presión adecuada en el estanque	1	Resorte ajustado con exceso de torque.	Produce sobre-presión en el fluido a contener.	X	X	Detener la línea para calibración de la válvula	Fluido contaminado, mal calibramiento previo, suciedad..

Tabla 13. Modo de Falla - Resorte de válvula.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Dispositivo: válvula / Componente: Asiento										
N°	Función	#	Falla funcional	N°	Modo de Falla	Efectos de falla			Posible causa	
						Equipo	Medio ambiente	Seguridad Personal		Producción
1	Formar sello entre el disco y la boquilla	A	No sella	1	Fuga en asientos	Incapaz de contener la presión del estanque.	X	X	Es necesario detener la línea y realizar mantenimiento, de ser necesario cambiar componentes o lapear el cuerpo.	Suciedad o rebabas durante instalación obstruyen el sello entre el disco y la boquilla. Asientos desgastados.
				2	Corrosion interna	Pérdida de capacidad para crear un sello hermético	X	X	Es necesario detener la línea para retirar la valvula y realizar el mantenimiento correspondiente.	Puede ser producido por fluido contaminado o incompatibilidad con el producto de servicio

Tabla 14. Modo de Falla - Asiento de válvula.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Dispositivo: Válvula / Componente: Vástago										
N ^o	Función	#	Falla funcional	N ^o	Modo de Falla	Efectos de falla				Posible causa
						Equipo	Medio ambiente	Seguridad Personal	Producción	
1	Transmitir la fuerza de contra presión para mantener la válvula sellada	A	Dificultad para operar	1	Deformación del vástago	Fuga producto de la no transmisión a contra presión. Disco no logra sellar la válvula	X	X	Detención de línea para retirar válvula..	Golpe por caída durante almacenamiento, izaje inadecuado desde el vástago. Exceso de torque ajustar la válvula.
				2	Rotura del vástago	Imposible de estar en funcionamiento. Debe ser reemplazada.	X	X	Detención de línea para retirar válvula..	Golpe por caída durante almacenamiento, izamiento desde el. Exceso de torque para ajustar la válvula.
				3	Corrosión	Se traba el vástago imposibilitando la operación	X	X	No es necesario detención, ni interfiere en descarga de producto	Falta de preservación en área de almacenamiento, exposición a humedad.

Tabla 15. Modo de Falla - Vástago de válvula.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Dispositivo: Válvula / Componente: Tornillo de ajuste										
N°	Función	#	Falla funcional	N°	Modo de Falla	Efectos de falla				Posible causa
						Equipo	Medio ambiente	Seguridad Personal	Producción	
1	Mantener presión adecuada para hermetismo	A	Falta de torque	1	No ejerce presión adecuada	Fuga de fluido por falta de presión	X	X	Necesario detener la línea, no cumple con la presión necesaria para mantener el fluido en el estanque.	Mal mantenimiento realizado anteriormente.
2	Ajustar presión del resorte	A	No ajusta a la presión requerida	1	Falta de torque	Se producen fugas del fluido, impide mantener presión requerida en el estanque.	X	X	Necesario detener la línea, puede interferir en descarga de producto y producir pérdidas de producto.	Falta de torque en mantenimiento previo

Tabla 16. Modo de Falla - Tornillo de Ajuste de válvula.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Dispositivo: Válvula / Componente: Disco de cierre										
N°	Función	#	Falla funcional	N°	Modo de Falla	Efectos de falla				Posible causa
						Equipo	Medio ambiente	Seguridad Personal	Producción	
1	Sellar la válvula para mantener presión del fluido en el estante	A	No mantiene la válvula hermética	1	Deformación del disco	Fuga de fluido	X	X	Detención de la línea para remplazo de disco.	Exceso de torque en ajuste.
				2	Ruptura del disco	Fuga de fluido	X	X.	Detención de línea para remplazo de disco.	Exceso de torque en ajuste. Incompatible con fluido
				3	Disco pegado al asiento.	Produce sobre-presión.	X	X	Detención de línea para mantenimiento y cambio de componentes.	Fluido contaminado.

Tabla 17. Modo de Falla - Disco de Cierre de válvula.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.5.4 Análisis de criticidad de las consecuencias FMECA

Referencia			Consecuencia	Frecuencia	Detección	RPN
Cuerpo						
1	A	1	8	7	5	280
1	A	2	8	1	7	56
1	A	3	3	9	1	27
Resorte						
1	A	1	6	3	8	144
1	A	2	5	4	8	160
2	A	1	7	8	7	392
Asiento						
1	A	1	6	4	5	120
1	A	2	5	4	7	224
Vástago						
1	A	1	5	3	7	105
1	A	2	6	4	7	144
1	A	3	6	3	7	126
Tornillo de ajuste						
1	A	1	6	4	7	168
2	A	1	6	4	7	168
Disco de cierre						
1	A	1	5	4	7	140
1	A	2	6	4	7	168
1	A	3	6	8	7	336

Tabla 18. Criticidad por Modos de Falla PSV.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

En la anterior tabla, se presenta la determinación del RPN para distintos modos de falla en una válvula de seguridad. Para realizar este análisis, fue necesaria la ayuda de un especialista de banco de pruebas para PSV's, para la determinación de algunos puntos de valoración dentro de estas.

Como resultado del análisis realizado bajo la metodología FMECA, es posible decir que los componentes más críticos de una PSV, y de acuerdo a los modos de falla recopilados, son el resorte, disco de cierre y tornillo de ajuste, sin embargo, a pesar de que el vástago no se categorizo como un elemento como crítico, se destaca que realiza una función importante dentro del funcionamiento de una válvula.

Además, a modo de jerarquizar los modos de falla más críticos, se presentan las fallas ordenadas de acuerdo al RPN resultado en la siguiente tabla.

Modo de Falla	Criticidad	RPN
Resorte ajustado con exceso de torque	Alta	392
Disco pegado al asiento.	Media	336
Falla sellos	Media	280
Tornillo de ajuste no ejerce presión adecuada para mantener presión en válvula (fuga de fluido)	Media	168
Ruptura de disco	Media	168
Corrosión interna	Media	160

Tabla 19. RPN Modos de Falla PSV

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

5.5.5 Diagrama de Pareto de la criticidad de los modos de falla.

El diagrama de Pareto, también conocido como “Regla 80-20”, es una herramienta de gestión que facilita la toma de decisiones aplicado ampliamente al liderazgo y la gestión. Este principio desarrollado por Vilfredo Pareto, nos dice que “la mayor parte de los resultados viene de la menor parte de los esfuerzos”. Es decir, esto aplicado a la gestión del mantenimiento y criticidad, es posible decir que teóricamente el 80% de la criticidad total o con efectos potenciales cuantificados con RPN, es causada por solo el 20% de los modos de falla.

Entonces, se clasifica los distintos RPN obtenidos en categorías, para posteriormente analizar cuales categorías necesitan de mayor atención, tareas más estrictas y severas. Se realiza el análisis como se muestra en la siguiente tabla.

Categoría RPN	RPN	% Acumulado
1	392	14%
2	336	26%
3	280	37%
4	224	45%
5	168	51%
6	168	57%
7	168	63%
8	160	69%
9	144	74%
10	144	79%
11	140	84%
12	126	89%
13	120	93%
14	105	97%
15	56	99%
16	27	100%

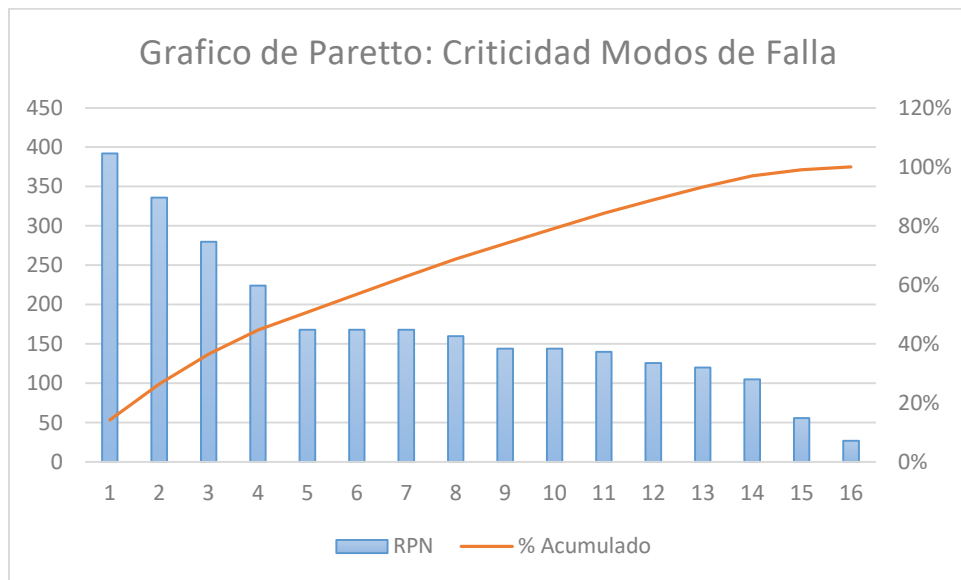


Gráfico 4. Gráfico de Pareto – Criticidad Modos de Falla.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Con esto se observa que las nueve primeras categorías representan el 80% de la criticidad más alta de los modos de falla, cuantificado con RPN, por lo que todos los esfuerzos de mantenimiento serán destinados en primer lugar a los modos de falla que figuren entre estas categorías a fin de suprimirlos completamente o reducir sus impactos considerablemente. Sin embargo, como se mencionó durante el análisis FMECA, el RPN puede ocultar mucha información, por lo que se debe analizar los resultados obtenidos del Análisis de Pareto y Análisis FMECA.

5.6 Procedimiento de Mantenimiento

Para generar un mayor control y contribuir al incremento de la confiabilidad, la disponibilidad y el beneficio económico para la cadena de valor de la empresa, es que se presenta al actual plan de mantenimiento de válvulas de seguridad por parte de ENAP Refinería Bío Bío, la propuesta de mejora en cuanto a los procedimientos del mantenimiento a válvulas de seguridad, específicamente a la toma de decisiones y a los registros de cada una de ellas, siendo esencial la categorización y jerarquización para todas aquellas válvulas que en su ensayo de recepción presentan una sobre-presión a lo permitido, identificando las posibles causas de esta bajo análisis previo, con la finalidad de tener antecedentes claros de la falla presentada, para un posterior seguimiento del caso y valorización del dispositivo como semi-crítico o crítico para así mejorar la periodización del mantenimiento y evitar detenciones futuras fuera del programa.

5.6.1 Frecuencia de Inspecciones.

Como resultado del estudio realizado bajo la metodología RCM, junto con el análisis FMECA, se determina que se debe mantener un sistema adecuado de registros para tener toda la información necesaria disponible para la coordinación y gestión de la mantención de las válvulas de alivio considerando todos aquellos componentes catalogados como críticos, a modo de fallo, con el fin de generar una alerta de todas aquellas válvulas que luego de su respectivo ensayo de recepción, superen el 30%, 50% y 150% de sobre-presión, a fin de mantener un monitoreo detallado de estas, junto con la ejecución de inspecciones en intervalos de tiempos reducidos. “API 576-2009 6.4.2.1.2”. Como consecuencia, se logrará obtener una clasificación de válvulas críticas para una próxima mantención.

Para cada dispositivo de alivio de presión en servicio, se debe mantener un registro permanente y completo. El registro debe incluir datos de especificación, historial de mantención y resultados de pruebas. “API 576-2009 7.2.1”

Los registros históricos que muestran las fechas y los resultados de las inspecciones y pruebas son necesarios para la fase de seguimiento o control del programa de válvulas de alivio. Permiten revisiones periódicas para determinar si se están realizando los intervalos de prueba planeados para un dispositivo. “API 576-2009 7.2.2”

5.6.1.1 Válvulas en almacenamiento y/o repuesto

Todas aquellas válvulas que se encuentran en almacenamiento o en stock de repuestos, se definen como almacenadas en estante, en interiores o a la intemperie. Las PSV's que contengan debidamente su tarjeta de identificación y que están calidad de repuestos en interior de bodega o como stock, deben contar con su correspondiente fecha de certificación de prueba hidrostática, la cual no debe ser mayor a un plazo de un año.

Si a la válvula le caduca su fecha de vencimiento de certificación, esta será retirada de bodega para una nueva inspección de prueba hidrostática, si cumple con las condiciones establecidas, obtendrá nuevamente su certificación y será devuelta a bodega, de lo contrario deberá ser sometida a mantenimiento y posterior inspección.

Para aquellas PSV's que cuentan con su tarjeta y certificación en regla y vayan a ser puestas en servicio para lo que fue diseñada, no requiere una reiteración de su inspección sino hasta después de haber sido instalada y al cumplirse el intervalo de inspección especificado. En ningún caso el tiempo total entre pruebas será superior a 10 años (según norma GMISS) o según los requerimientos jurisdiccionales que sean aplicables.

Para todos aquellos dispositivos para el cual no exista un uso definido o planificado, deben ser enviados a la División Mecánica, para estudio, análisis y ensayo de este, en el cual se determinará si el dispositivo en cuestión es utilizable o no. Si no lo es, deberá ser debidamente descartado para futuras inspecciones.

5.6.1.2 Válvulas en servicio

La frecuencia de inspección de las válvulas de seguridad será determinada bajo estricto análisis a las condiciones de cada una de ellas, donde se tomarán en cuenta diversos factores para la toma de decisiones.

- Para todas aquellas válvulas que no cuentan con un historial de servicio y han sido puestas en funcionamiento, se recomienda fijar en 1 año como mínimo y 2 como máximo su intervalo de inspección inicial. El equipo de Ingeniería de Mantenimiento puede establecer un intervalo de inspección más frecuente, si las condiciones de servicio pueden generar corrosión, congelamiento u obstrucciones.
- Las válvulas de seguridad en servicio de refrigeración cuyo tamaño sea de 1" o menores, pueden tener una frecuencia de inspección de 5 años. El intervalo máximo de inspección admitido para aprobación es de 10 años (según la Norma Global Mechanical Integrity Safety Standard (GMISS)).
- Un dispositivo usado para efectuar un reemplazo "igual-por-igual" puede tener la misma frecuencia de inspección que el dispositivo original que fue reemplazado, siempre y cuando cumpla con su certificación previa al día.
- El equipo de Ingeniería de Mantenimiento puede establecer intervalos de inspección más prolongados si el historial de ensayos lo garantiza o si se demuestra que se tiene en servicio un dispositivo que responde a sus condiciones de servicio dentro de los estándares admisibles bajo resultados o de lo contrario, solicitar la reducción de tiempos de inspección por condiciones ambientales o sobre-presiones presentadas en su historial de ensayos. El proceso de aumentar y reducir la periodicidad de los intervalos de inspección de los dispositivos de alivio se encuentra en los ítems 5.6.2.4 / 5.6.2.5.
- Para aquellas válvulas que fueron puestas fuera de servicio por un periodo prolongado de tiempo, se requiere efectuar una nueva inspección, a menos que se encuentre dentro de su periodo de inspección programado y sea retornado a su servicio original,

siempre y cuando no haya sido expuesta a un ambiente dañino y almacenada según corresponda. En ningún caso el tiempo total fuera de servicio y en servicio podrá superar la duración del intervalo de inspección establecido por la norma GMISS o por los requerimientos jurisdiccionales.

5.6.1.3 Modificación a periodicidad del mantenimiento.

A continuación, se presentará en detalle la información sobre la modificación de los intervalos de inspección a PSV's y cómo puede producirse dicha modificación.

Existen tres maneras de ampliar el intervalo de inspección para las PSV's, las cuales son las siguientes:

- Extensión basada en el propio historial de ensayos del dispositivo.
- Uso de un dispositivo de referencia en servicio esencialmente equivalente.
- La obtención de una carta firmada por el Jefe de la División Mecánica, indicando que están solicitando la ampliación de la periodicidad de inspección por la adopción de un nuevo intervalo entre inspecciones.

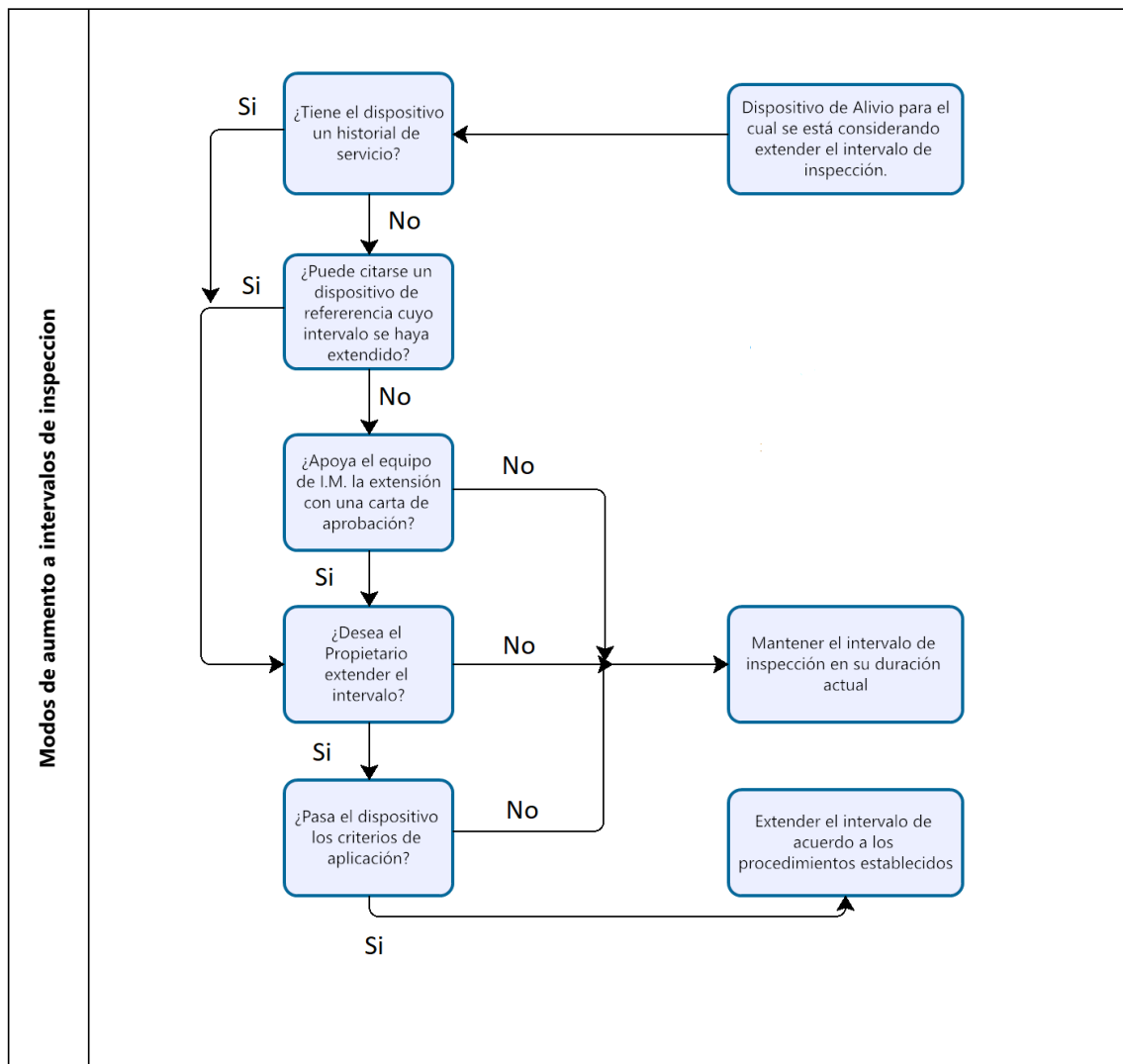


Ilustración 18. Modos de Aumento a Intervalos de Inspección.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria – Software Bizagi.

5.6.1.4 Aumento en intervalos de inspección.

La modificación en los intervalos de tiempo de mantenimiento, estará sujeta a un sinnúmero de condiciones como el ambiente en el cual está instalado, tipo de fluido, presión sometida o contaminación del fluido, sin embargo, para solicitar la ampliación del intervalo de una inspección a una PSV, esta será sometida a evaluación según los resultados obtenidos durante el proceso de su vida útil.

Para que el tiempo de inspección sea ampliado, el dispositivo debe presentar como resultado en sus tres últimas inspecciones (periodicidad de inspección determinada con anterioridad según requerimiento) una apertura de presión dentro de los criterios de aplicación establecidos en su funcionamiento. Si los resultados son óptimos, el dispositivo puede aumentar su intervalo de tiempo en un 50% en relación a el intervalo actual, sin exceder el intervalo máximo establecido por norma de diez años.

Intervalo de tiempo original	Aumento de inspección
3 meses	6 meses
6 meses	1 año
1 año	2 años
2 años	4 años
3 años	6 años
4 años	8 años
5 años	10 años
6 años	10 años
7 años	10 años
8 años	10 años

Tabla 20. Aumento de Intervalos de Inspección.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria.

5.6.1.5 Reducción en intervalos de inspección

Al igual que como fue señalado anteriormente, la modificación de los tiempos de inspección para los dispositivos de alivio puede estar sometida a distintos factores, sin embargo, para que el tiempo de inspección sea reducido producto de su historial de mantenimiento, el dispositivo en cuestión debe haber presentado en sus últimas tres inspecciones, de forma consecutiva, una sobre-presión de acuerdo al criterio establecido según su funcionamiento.

Por consecuencia, se toma automáticamente la determinación de reducir su intervalo de inspección en un 50% como método preventivo junto con la aplicación de un exhaustivo análisis a modo de falla para corregir el problema.

Todas aquellas válvulas las cuales se les haya reducido su periodicidad de inspección producto del resultado de sus ensayos, será catalogada como dispositivo crítico.

Para que el dispositivo vuelva a aumentar su intervalo de inspección, deberá cumplir con la normativa señalada en el ítem 5.6.2.4.

Intervalo de tiempo original	Reduccion de inspección
10 años	5 años
9 meses	4.5 año
8 año	4 años
7 años	3.5 años
6 años	3 años
5 años	2.5 años

4 años	2 años
3 años	1.5 años
2 años	1 año
1 año	6 meses
6 meses	3 meses

Tabla 21. Reducción de Intervalos de Inspección.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria.

5.6.2 Cambio de Status para los dispositivos de alivio.

Al efectuarse una modificación en los intervalos de inspección de una válvula, se produce un cambio de status en esta, por lo que será necesario gestionar los cambios, actualizarlos y revisar toda la documentación en la medida necesaria. Los cambios de status que se produzcan requieren que el equipo de Ingeniería en Mantenimiento haga lo siguiente:

- Completar la documentación y formularios necesarios que correspondan, a modo de registro como historial de mantenimiento y notificación del cambio de status. Se debe incluir a los registros mediante software SGVS.
- El equipo de Ingeniería de Mantenimiento o el Jefe de la División, deberán solicitar y realizar el cambio de estatus a modo de modificar los intervalos de inspección en SAP, para futuras mantenciones.

5.6.3 Proceso de Postergación de la Inspección.

Si luego del periodo establecido para la inspección de un dispositivo de alivio, no se lleva a cabo dicha inspección por motivos especiales bajo criterio y esta vence, se debe solicitar al jefe del Departamento de Mantención junto con el Jefe de Operaciones Comerciales, una postergación para la inspección.

Dicha postergación no debería superar el 10% de la frecuencia de inspección establecida, sin embargo, si la necesidad lo requiere se puede aplazar adicionalmente la inspección del dispositivo con un máximo del 20% de su frecuencia de inspección. Automáticamente la inspección de la válvula será catalogada como “atrasada” y el Jefe de la División Mecánica arriesga sanciones bajo el “código de ética” de ENAP Refinerías. Al mismo tiempo se elaborará un plan de cumplimiento desarrollado.

Aplazar una inspección sin la debida solicitud y aprobación correspondiente es inaceptable.

La solicitud de postergación para la inspección de dispositivos contempla la descripción detallada, en un documento, el cual incluye:

- Información general: código de planta, orden de trabajo, tipo de equipo, descripción del equipo, personal a cargo del equipo, etc.
- Información de la inspección: tipo de inspección, fecha de vencimiento de la inspección actual, intervalo de inspección actual, fecha de vencimiento de postergación solicitada, porcentaje de aplazamiento solicitado y comentarios.
- Evaluación de ingeniería: Líder de recursos, Inspector calificado, Líder de Mantenimiento, Ingeniero evaluador.
- Plan de comunicación.
- Firmas para aprobación de solicitud.
- Firmas para aprobación adicional >10% hasta 20%

5.6.4 Propuesta de registro para mantenimiento de dispositivos de alivio



Mantenimiento PSV - División Mecánica

Banco de pruebas	Supervisor solicitante	Fecha Solicitud	OT	N° Certificac	Equipo	TAG	Planta	Marca	Tipo	Apertura Pre-pop	Settina	% Sobre-presion	Desarme de PSV	Limpieza	Rectificado / Lapeado	Armado	Calibracion	Fecha Estimada entrega	Estado	Observaciones	Responsable	Criticidad	
ENAP	P. VERGARA	04-01-2022	30728126	8129	Prensa J-8	PSV-842-A	CHT	A. Greenw	Convencior	39,6134	15	164	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	07-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	P. Gómez M	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	04-01-2022	30723127	8111	Agua C-814	PSV-1614	CHT	Farris	Convencior	157,003	100	57	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	07-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	P. Gómez M	Semi-critico
ENAP	SUP. INSTRUMENTOS	04-01-2022	30748049	7869	F-4	SV-4	TV-1	Crosby	Convencior	152,108	100	52	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	06-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	P. Gómez / R. L	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	04-01-2022	10304281	7602	C-455 X	PSV-698	TV-2	Consolidat	Convencior	127,452	50	155	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	05-12-2022	ENTREGADO	Primera prueba	P. Gómez M	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	05-01-2022	30744521	7600	C-453 X	PSV-696	TV-2	Consolidat	Convencior	121,469	50	143	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Pendiente	07-01-2022	REG ATRAS	Primera prueba	P. Gómez M	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	05-01-2022	10305819	7408	J-1902	19PSV-251	HDS-2	Fisher	Balancead	16,8607	5	237	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	11-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	P. Gómez M	Semi-critico
ENAP	P. VERGARA	05-01-2022	30730667	7246	JT-1001B	SV-JT-100	SUM	Kunkle	Convencior	107,509	55	95	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	12-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	Patricio Gómez	Semi-critico
ENAP	J. TORREGROSA	05-01-2022	10306991	7019	J-1154	SV-1017	SUM	Consolidat	Convencior	187,008	110	70	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	08-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	R. Rossner	Semi-critico
ENAP	J. TORREGROSA	05-01-2022	30747331	6845	F-1601	16PSV-163	MDEA-2	Farris	Convencior	270,495	150	80	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	13-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	R. Rossner/L.F	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	07-01-2022	30742936	6796	C-194	01PSV-194	HDG	Consolidat	Convencior	267,776	171	57	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	08-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	R. Rossner/L.F	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	07-01-2022	30723127	6796	C-290	01PSV-194	HDG	Consolidat	Convencior	267,776	171	57	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	13-01-2022	REG ATRAS	Primera prueba	R. Rossner	Semi-critico
ENAP	J. TORREGROSA	07-01-2022	10292002	6758	G-1840	PSV-1840	CRL	Consolidat	Balancead	168,244	90	87	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	12-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	R. Rossner/L.F	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	08-01-2022	30664502	6714	F-154	PSV-161	URL	Consolidat	Convencior	457,413	279	64	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	12-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	R. Rossner/L.F	Semi-critico
ENAP	H. BUSTOS	08-01-2022	30738105	6670	F-1631	16PSV-160	SwU-2	Farris	Balancead	77,1419	45	71	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	12-01-2022	ENTREGADO	Primera prueba	R. Rossner/L.F	Semi-critico
ENAP	P. VERGARA	08-01-2022	30708171	5777	J-1375	SV-J-1375	MERDX	Kunkle	Convencior	152,562	60	154	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Pendiente	13-01-2022	REG ATRAS	Se lapea asient	F. Villegas	Semi-critico

Tabla 22. Propuesta de Registro Para Mantenimiento de PSV

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

La presente tabla es propuesta para los futuros ensayos de mantenimiento a realizar en el banco de pruebas de la División Mecánica de ENAP – Refinería Bio Bio, en la cual el personal responsable de ejecutar los debidos ensayos, tienen por obligación completar cada campo requerido durante el tiempo que dure el proceso de mantenimiento del dispositivo, cual finalidad es mantener la información y registro adecuado para el seguimiento de futuras mantenciones a aquellos dispositivos que así lo requieran según criterios y normas establecidas para su catalogación de acuerdo a los resultados obtenidos.

Cabe destacar que los campos completados en la presente tabla, son resultado de un ejemplo de cómo deben realizarse los registros, antes, durante y después del ensayo realizado.

5.6.5 Implementación de la propuesta a los procedimientos

Para impartir la propuesta ya presentada, será de vital necesidad el definir la manera en la cual se impartirá la mejora, junto con los responsables de supervisar que dicha implementación sea desarrollada de forma correcta para evitar futuros problemas.

A continuación, se presentarán los puntos vitales para el desarrollo de esta.

5.6.5.1 Capacitación al personal:

El departamento de mantención, en conjunto con ingeniería de mantenimiento de la División Mecánica, requerirá que los empleados que correspondan, reciban una capacitación inicial sobre esta norma y que de allí en adelante les sea impartida una capacitación de refresco cada 3 años.

Toda la capacitación deberá ser documentada, así como también deberá notificarse al personal que corresponda todo cambio significativo que se introduzca a los términos de esta norma.

5.6.5.2 Responsabilidad de Técnicos e Inspectores

Los Inspectores Calificados son responsables de las inspecciones, reparaciones y colocación de tarjetas a todas las PSV, junto con registrar toda aquella información solicitada dentro de la nueva implementación de procedimientos para el mantenimiento de PSV's y ejecutar los trabajos necesarios para la correcta ejecución del mantenimiento.

5.6.5.3 Responsabilidad de supervisores de la División Mecánica:

La línea de supervisores de la división mecánica tendrá la obligación de generar la revisión de archivos de registro de forma constante, seleccionados de forma al azar, para verificar si se encuentran completos.

Al mismo tiempo deberán realizar una inspección a la documentación de capacitación del personal, para corroborar que estos estén debidamente en conocimiento de lo requerido, para que al mismo tiempo se pueda determinar que están óptimamente capacitados para realizar los trabajos de mantención.

Corroborar que todos los equipos que se encuentran en servicio han sido registrados y/o están bajo algún otro tipo de control para el mantenimiento preventivo (ya sea inspección visual, análisis de vibraciones, UT, etc.), según lo requiera su catalogación.

5.6.5.4 Responsabilidad del equipo de Ingeniería de Mantenimiento:

Una vez ya impartida la modificación en el mantenimiento de dispositivos de seguridad, el equipo de ingeniería en mantenimiento tendrá la obligación de generar auditorias en intervalos de 3 años como máximo, para comprobar el estricto cumplimiento de la norma.

De ser necesario, las deficiencias observadas en el cumplimiento del programa deberán ser documentadas y corregidas, así en la siguiente auditoría se verificará que todas las deficiencias hayan sido debidamente corregidas.

5.6.5.5 Responsabilidad Jefe de la división Mecánica:

El jefe de la división mecánica, al ser el rango jerárquico más alto de la división, tendrá por obligación corroborar periódicamente que tanto los ingenieros en mantenimiento como los supervisores, cumplan con sus obligaciones de acuerdo a los requerimientos establecidos, esto con el fin de mantener en curso el correcto funcionamiento del nuevo plan de mantenimiento para Válvulas, establecido.

6 Capítulo VI: Evaluación Económica

La evaluación económica realizada a la presente propuesta de mejora de procesos del mantenimiento a válvulas de seguridad, abarca los costos asociados a la posible falla de uno o más de los dispositivos de seguridad, ya sea en costo propiamente tal de reparación, cambio del dispositivo y/o tiempo de detención de la línea, lo que produce una pérdida de producción en los activos como , pérdidas de producción de combustibles por hora; versus el costo de implementación para la presente propuesta de mantenimiento.

Cabe destacar que en esta evaluación no se consideran las HH (horas hombres) debido a que son valores que están considerados dentro de los contratos de cada trabajador técnico mecánico señalado por ENAP RBB.

La evaluación económica se enfoca en la ganancia de recursos, previniendo una falla imprevista que puede provocar la detención obligatoria del equipo.

Los costos asociados a mantención se obtuvieron de diversas cotizaciones para el mantenimiento correspondiente bajo norma API, de la empresa RECVAl (especialistas en mantenimiento de PSV's), valores los cuales se encuentran ajustados a la actualidad según la variación del IPC de los últimos años.

6.1 Tabla de costos de mantención a PSV's

Nº Cotización	Dispositivo	Dimensiones	Marca	Descripción	Valor Mantención 2023
1	PSV	1" x 2"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 288.846
2	PSV	1" x 1"	Farris	Recuperación y Seteo	\$ 288.846
3	PSV	1 1/2" x 2 1/2"	Farris	Recuperación y Seteo	\$ 364.170
4	PSV	1" x 1 1/2"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 288.846
5	PSV	3" x 3"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 464.176
6	PSV	1.1/2"-F-2.1/2"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 364.170
7	PSV	1.1/2"-E-2"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 364.170
8	PSV	1.1/2"-F-2"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 364.170
9	PSV	2"-H-3"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 419.119
10	PSV	4"-P-6"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 631.079
11	PSV	2"-H-3"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 419.119
12	PSV	2" x 3"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 419.119
13	PSV	4"-P-6"	No Especifica	Recuperación y Calibración	\$ 631.079
14	PSV	1/2"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 218.400
15	PSV	3" x 3"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 364.170
16	PSV	3/4" x 1"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 251.160
17	PSV	1" x 1 1/2"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 288.846
18	PSV	1" x 1"	No Especifica	Recuperación y Seteo	\$ 288.846
19	PSV	2" x 2"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 419.119

20	PSV	1 1/2" x 2 1/2"	Farris	Recuperación y Seteo	\$ 364.170
21	PSV	1 1/2" x 2"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 364.170
22	PSV	1" x 2"	Kunkle	Recuperación y Seteo	\$ 288.846
23	PSV	1" x 1"	Farris	Recuperación y Seteo	\$ 288.846
24	PSV	1 1/2" x 2 1/2"	Farris	Recuperación y Seteo	\$ 364.170
Total =					\$8.807.653

Tabla 23. Tabla de Costos de Mantenimiento PSV's

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

En la presente tabla se presentan algunas cotizaciones a válvulas de seguridad de las marcas Kunkle y Farris, de diferentes tamaños ajustados a los valores aproximados actualmente en el mercado. Dichas cotizaciones contemplan los siguientes ítems dentro de su valor:

- Retiro de válvulas de Planta a nuestras instalaciones
- Seteo de peritaje de válvula en banco de pruebas
- Desarme e inspección de partes
- Mecanizado de partes según medidas del fabricante
- Ajuste de lift, blow down, según fabricante
- Recuperación de válvula según Norma API 576
- Pruebas de hermeticidad según Norma API 527
- Pruebas de seteo banco según Norma ASME SECCION VIII
- Normalizado de válvulas según Norma ASME SECCION VIII
- Certificado de pruebas de banco
- Entrega en sus instalaciones
- Garantía 01 año

*Los insumos como repuestos van incluidos dentro de cada cotización según corresponde.

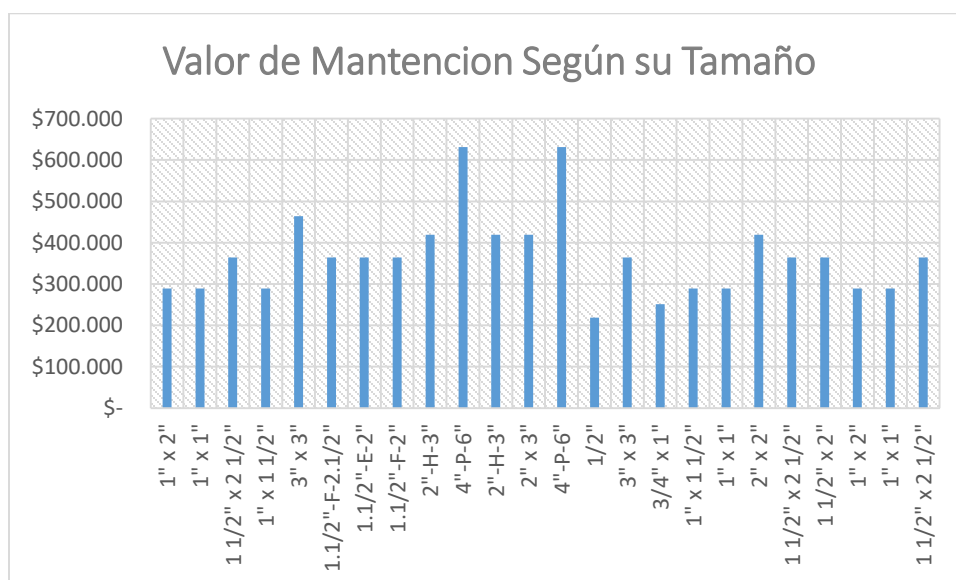


Gráfico 5. Costo de Mantenimiento a PSV's Según Su Tamaño.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Si nos basamos la hipótesis de realizar un mantenimiento correctivo de forma aleatoria a 24 válvulas de seguridad en funcionamiento durante los próximos doce meses, tendremos como resultado aproximado una inversión anual de \$8.807.653, valor en el cual no se contemplan los tiempos de detención que esta reparación pueda provocar en una línea de producción, si no se cuenta con los debidos repuestos de válvulas en planta, a lo que inmediatamente se le puede sumar pérdida de ganancia de activos, los cuales estarían sujetos a evaluación según la jerarquización de criticidad de cada planta y proceso, realizada en el estudio.

6.2 Tabla de Costos Stock Idóneo de Repuestos

N° Cotización	Dispositivo	Dimensiones	Marca	Descripción	Valor 2023
1	PSV	1/2" x 3/4"	Kunkle	Vapor	\$ 279.800
2	PSV	3/4" x 1"	Kunkle	Vapor	\$ 327.700
3	PSV	1" x 1"	Kunkle	Vapor	\$ 380.000
4	PSV	1 1/4" x x1 1/2"	Kunkle	Vapor	\$ 478.800
5	PSV	1 1/2" x 1 1/2"	Kunkle	Vapor	\$ 518.100
6	PSV	1 1/2" x 2"	Kunkle	Vapor	\$ 576.200
7	PSV	2" x 2"	Kunkle	Vapor	\$ 791.200
8	PSV	2" x 2 1/2"	Kunkle	Vapor	\$ 837.700
9	PSV	2 1/2 x 2 1/2"	Kunkle	Vapor	\$ 852.700
10	PSV	3" x 3"	Kunkle	Vapor	\$ 1.210.200
11	PSV	1" x 2"	Hants	Líquido y Vapor	\$ 1.254.900
12	PSV	1 1/2" x 2"	Hants	Líquido y Vapor	\$ 1.328.200
13	PSV	2" x 3"	Hants	Líquido y Vapor	\$ 2.130.000
14	PSV	3" x 4"	Hants	Líquido y Vapor	\$ 3.383.400
15	PSV	4" x 6"	Hants	Líquido y Vapor	\$ 4.660.000
16	PSV	1" x 2"	Hants	Fluido Corrosivo	\$ 3.315.400
17	PSV	1 1/2" x 2"	Hants	Fluido Corrosivo	\$ 3.833.900
18	PSV	2" x 3"	Hants	Fluido Corrosivo	\$ 4.716.200
19	PSV	3" x 4"	Hants	Fluido Corrosivo	\$ 7.941.600
				Total	\$ 38.816.000

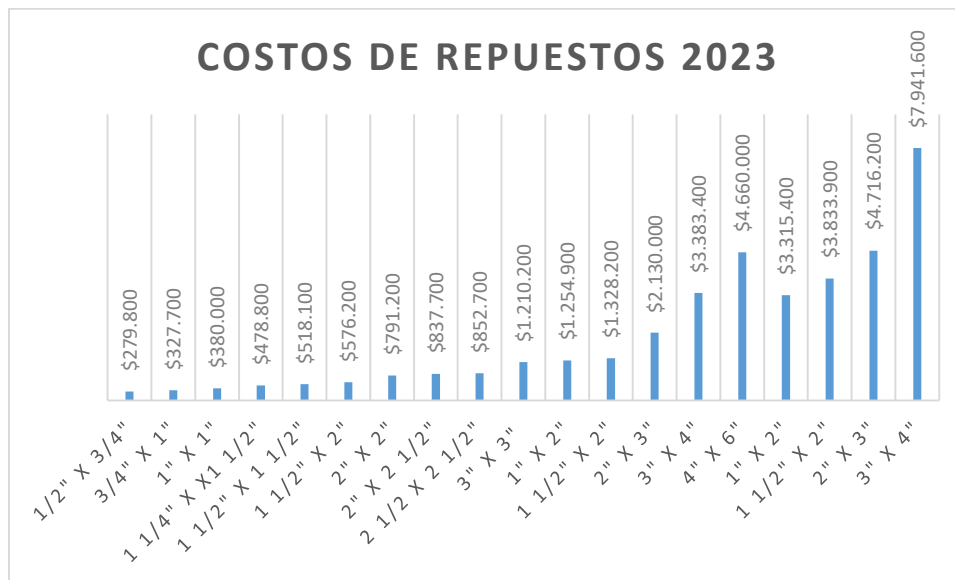


Grafico 6. Costos de Repuestos Para Stock.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Los valores de los repuestos como válvulas señalados en la anterior tabla fueron otorgados por una cotización realizada en PROVALTEC.CL, valores los cuales están sujetos a la actualidad de mercado.

Las válvulas incluyen certificación ASME VIII, junto con la documentación necesaria de toda válvula nueva bajo norma.

La implementación para el Stock idóneo de repuestos es una medida sugerida como estrategia económica para mejorar dicho beneficio evitando perdidas por tiempos de reparación. Es de suma importancia supervisar de forma periódica la inspección a válvulas en bodega, a fin de mantenerlas en regla para su uso inmediato y evitar tener el stock en cero.

6.3 Costo de implementación para el plan de mantenimiento propuesto

Para los costos asociados a la implementación de la propuesta en cuestión, se consideró como fundamental la inversión en capacitación al personal, realizada por una empresa especialista en cursos del mantenimiento a dispositivos de alivio y seguridad bajo la norma API 576 y los criterios necesarios para esta.

Cabe recordar que para el presente análisis no se consideran las HH, puesto que son valores que están considerados dentro de los distintos contratos de trabajadores asociados a ingeniería y técnico operacional.

A continuación, se presenta la cotización propuesta por la empresa RED CAPACITACION, la cual será la encargada de impartir la capacitación a un grupo de trabajadores en conjunto con el equipo de ingenieros en mantenimiento de la División Mecánica, con la finalidad de

entregar los conocimientos y las herramientas necesarias para la implementación de la nueva metodología de mantenimiento.



Curso:
Válvulas Industriales
Descripción
Se describen las principales válvulas industriales, sus componentes, funcionamiento interno, criterios de selección y recomendaciones para su operación y mantenimiento.
Modalidad de ejecución del curso
Clases en vivo por plataforma zoom, foro con especialista, ejercicios prácticos, certificado. Acceso por 90 días a material del curso.
Duración:
16 Horas / 4 Días
Contenidos del curso:
<ul style="list-style-type: none"> • Principales componentes de una válvula • Clasificación de las válvulas • Materiales (ASME / ANSI) • Criterios para la selección • Válvulas de control • Válvulas de seguridad • Accionamiento / Actuadores • Normas (API, ASME, NFPA) • Problemas frecuentes • Pruebas y Certificaciones
Costo Por Trabajador = \$205.000

Tabla 24. Cotización Curso y Capacitación a Mantenición PSV's.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

En la presente cotización se relaciona un costo de capacitación por trabajador de \$205.000 pesos, en el cual se considera un total de 13 trabajadores incluidos para integrar dicha capacitación (entre el equipo de ingenieros en mantenimiento, supervisores y técnicos de operación), lo que en total se ascendería a un costo de inversión de \$2.665.000.

Cabe destacar que, según los tiempos establecidos, dicha capacitación debe ser realizada nuevamente en un plazo máximo de 3 años.

Dado los bajos costos que implica la implementación de la propuesta de mejora a los procedimientos de mantención y registros a válvulas de seguridad para la reducción de modos de fallas de dichos dispositivos y las detenciones de líneas de producción, es que se considera rentable para aumentar la confiabilidad de los equipos y activos.

Es así que evitaríamos considerablemente los costos de pérdidas producto de los tiempos de detención y mantención provocados por fallas evitables, si se tuviera un adecuado

registro de información junto con la alerta del nivel de criticidad de cada una de las válvulas, lo que permite un seguimiento adecuado y la mejora de periodicidad en su mantención.

Dentro del análisis no se han considerado los beneficios relacionados a los ingresos o ahorros que percibirá ENAP Refinería Bío Bío producto de la preservación de la vida útil de sus activos productivos, dado que estos se concretan una vez ejecutado el Mantenimiento Preventivo que, mediante la propuesta del presente trabajo, se pretende planificar.

6.4 Costos Asociados a Pérdidas de Producción

Según los datos otorgados por la línea de negocios de ENAP Refinería Bío Bío, se logra procesar aproximadamente 116.000 barriles al día, lo que es equivalente a un procesamiento diario de 18.560 m³ diarios de crudo de petróleo.

Por cada barril procesado en sus respectivas líneas de producción, se obtiene un 28% de gasolinas y un 32% de diésel, lo que significa que diariamente se obtienen alrededor de 5.197 m³ diarios de gasolina y 5.939 m³ diarios de diésel.

Producción		
	Gasolina	Diésel
Litros diarios	5.197.000	5.939.000
Litros x hora	216.541	247.458

Tabla 25. Producción diaria de combustibles.

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Si asociamos una detención no programada por modo de falla de uno de los dispositivos de seguridad en una de las líneas críticas de producción, podemos relacionarlo directamente con la pérdida de producción mayoritariamente de combustibles, el cual asciende a 463.999 litros por hora, considerando solamente Gasolinas y Diésel, sin cuantificar el resto de productos obtenidos por el crudo de petróleo.

A continuación, podremos observar los costos asociados a pérdida de producción por hora.

Valor Asociado a Litro Producido			
	Litros por Hora	Valor Promedio Litro	Valor de Producción por Hora de Gasolina
Gasolina	216.541	\$1.248	\$278.038.644
Diesel	247.458	\$1.074	\$265.749.892
Total de ganancias por hora producida de combustibles			\$543.808.536

Tabla 26. Costos Asociados a Producción

Fuente: Elaboración Propia para Memoria

Como se presenta en la tabla, solo considerando costos de pérdidas por producción / hora, de gasolinas y diésel, tenemos un monto asociado a \$ 543.808.536 millones de pesos por hora perdida de trabajo.

6.5 Beneficio Económico

Como análisis de los resultados de inversión para la implementación de la propuesta para mejora del mantenimiento de válvulas de seguridad, obtenemos como inversión inicial la suma de \$50.288.653 millones para comenzar con el proyecto, el cual contempla los costos a la etapa de reducción de tiempos de inspección a los dispositivos críticos y sema críticos, costos para aumentas el stock de dispositivos en bodega y capacitación y calificación a inspectores para la implementación del nuevo plan de mantenimiento.

Estos valores pueden variar según las condiciones de mercado.

Al comparar el costo de implementación v/s los costos asociados a detenciones no programadas, obtenemos un beneficio de un 90% de reducción de costos e caso de una detención no programada por falla de dispositivo, lo que corrobora que el proyecto es completamente rentable para su implementación.

7 Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusión y Recomendación

Luego de la realización del presente proyecto, en el cual se recurrió a diversas técnicas y metodologías obtenidas durante el proceso de aprendizaje profesional, tales como la metodología RCM o el análisis FMECA, PARETO e ISHIKAWA, se logró desarrollar la elaboración de la presente propuesta de mejora a una de las grandes problemáticas actuales dentro de los procedimientos de mantenimiento de la División Mecánica, con respecto a las válvulas de seguridad.

Del análisis realizado a los registros de ensayos de válvulas de seguridad y bajo los estándares de la norma “API 570 2009”, “API 574 2009”, “API 576 2009”, se determinó un total de 4 válvulas sobre el 150% de CDTP, lo que según especifica la norma, probablemente esos 4 dispositivos no hubiesen actuado al momento requerido de una sobre-presión de un equipo o cañería en un proceso de trabajo. Junto con ello el análisis final del historial de mantenimiento dio como resultado un total de 37 válvulas sobre el 30% y 14 sobre el 50% de sobre-presión en un rango de ensayos realizados desde el año 2015 a la fecha, sin embargo ninguno de estos dispositivos identificados puede ser sometido a una reducción de intervalo de tiempo en sus inspecciones, ya que ninguno arrojó sobre-presión en más de dos ensayos realizados.

Dichas sobre-presiones pueden ser causas a modos de fallas identificados dentro del análisis FMECA, el cual dio como resultados más críticos, fallas en el calibramiento, desgaste de resorte, discos pegados a los asientos o corrosión, por lo que es de suma importancia dimensionar el nivel de criticidad para cada una de las válvulas que presentaron y que presentaran una sobre-presión, a modo de mantenerlas identificadas para futuras inspecciones y así aumentar la confiabilidad del equipo y disminuir la posibilidad de falla de este.

Como recomendación es fundamental modificar los procedimientos de mantención, en relación a todas aquellas válvulas que superen el 30% y 50% de sobre-presión, indicado la criticidad de aquellas en un registro especial de dispositivos sobre-presión, lo que facilitará un seguimiento y análisis de las condiciones de funcionamiento y del mismo modo ayudará a identificar válvulas críticas y no críticas.

Con esto se busca evitar fallas de estos instrumentos de gran importancia dentro del funcionamiento de procesos y seguridad, al mismo tiempo con la utilización de las sugerencias entregadas, se logrará un sistema de mantención más pro-activo y de mejor calidad.

Junto con lo anterior, es de suma importancia el desarrollo de constante de actividades y control para asegurar el correcto procedimiento implementado para la obtención de los resultados óptimos:

- Capacitación Constante de manera que la empresa cuente con más de un especialista inspector capacitado con las herramientas necesarias para proceder con el correcto proceso.
- Auditorías de forma que sus procesos sean garantizados de acuerdo a los estándares de calidad y procedimientos establecidos dentro de estos.
- Revisión de Historial de Mantenimiento de forma que los registros emitidos entreguen una alerta inmediata a supervisores, equipo de ingeniería de mantenimiento y jefe de la división para generar en conjunto una planificación del mantenimiento al equipo.
- Cumplir con los plazos establecidos de inspección según norma, dependiendo de los requerimientos específicos para cada caso de PSV, bajo sus registros e historial de mantenimiento y una inspección visual con plazo máximo de cinco años bajo el mismo criterio recientemente señalado, esto con el fin de no concurrir a solicitudes de postergaciones en el mantenimiento de válvulas y evitar cualquier tipo de sanción establecida dentro del código de ética y responsabilidades de ENAP – Refinería Bio Bio

Bibliografía

- API Standard 526, Flanged Steel Pressure-relief Valves
- API Standard 527, Seat Tightness of Pressure Relief Valves
- API Recommended Practice 576, Inspection of Pressure-relieving Devices
- API Recommended Practice 574, Inspection Practices for Piping System Components.
- API Recommended Practice 570, Inspection Piping Code.
- ASME section I rules for construction of power boilers
- ASME section VIII division 1 rules for construction of pressure vessels
- EEMUA–publication 188, guide for establishing operating periods of safety valves, edition 2
- Código de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Mecánicos (ASME) aplicable a calderas y tanques, Sección VII, División I.
- American Petroleum Institute API STD 510, Pressure Vessel Inspection Code.
- ASME PTC25-2001 “Pressure Relief Devices” Performance Test Codes.
- NTP 342: Válvulas de seguridad, características técnicas.
- NTP 510: Válvulas de seguridad, selección.
- Ensayos PSV’s – Consolidado ERBB.
- I-MAN-DM-001 Válvulas de seguridad.
- P-MAN-GRL-002_Procedimiento General de Mantenimiento Versión7 – 20191004.
- Manual de calidad – ENAP Refinería Bío Bío.
- Procedimiento General de Mantenimiento – ENAP Refinería Bío Bío.
- González, F. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado.
- Manuales y catálogos de Fabricantes de Válvulas de seguridad
- Manual de operación del Banco de pruebas ERBB.
- Inspection Due Date Deferral Form

Linkografía

- <https://www.enap.cl/>
- https://www.enap.cl/pag/1/775/mision_y_vision
- <https://www.enap.cl/pag/626/1754/marco-normativo>
- <https://www.enap.cl/pag/100/776/historia>
- <https://www.enap.cl/pag/5/760>
- <https://www.enap.cl/pag/11/782/politica-de-sustentabilidad>
- https://www.enap.cl/pag/15/1333/enap_sipetrol
- https://www.enap.cl/pag/24/877/enap_en_el_mundo
- https://www.enap.cl/pag/307/1233/gestion_ambiental
- <https://redcapacitacion.cl/curso/valvulas-industriales/9387>

Anexos

Inspection Due Date Deferral Form

1. GENERAL INFORMATION (Originator or Equipment Owner input as much as known; others help where needed)			
GEMTS (Unique ID) Number: <input type="text"/>	Registration / Tag Number: <input type="text"/>	Cost Center: <input type="text"/>	Form Initiation Date: <input type="text"/>
Plant Code: <input type="text"/>	Work Order Number: <input type="text"/>		
Equipment Type: <input type="text"/>			
Equipment Description: <input type="text"/>			
Originator: <input type="text"/>	Employee Number: <input type="text"/>	Phone: <input type="text"/>	
Equipment Owner: <input type="text"/>	Employee Number: <input type="text"/>	Phone: <input type="text"/>	
Provide a Detailed Description why an Inspection Due Date Deferral is Being Requested			
<input type="text"/>			
2. INSPECTION INFORMATION (Completed by Originator and Owner)			
Inspection Type: <input type="text"/>			
Current Inspection Due Date: <input type="text"/>		Current Inspection Interval: <input type="text"/>	
Requested Deferral Due Date: <input type="text"/>		Percentage Deferral Requested: <input type="text"/>	
Comments: <input type="text"/>			
3. ENGINEERING EVALUATION / STAKEHOLDERS (i.e., those involved other than approvers below)			
Stakeholders (Function: Name - Employee Number)			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Provide an Engineering Evaluation of the Requested Inspection Deferral <i>Note: For RBI / RBMI, a deferral must be reviewed by the RBI/RBMI SME to ensure that the risk criteria is not exceeded.</i>			
<input type="text"/>			
Engineering Evaluator: <input type="text"/>	Employee Number: <input type="text"/>	Date: <input type="text"/>	
Comments: <input type="text"/>			
4. COMMUNICATION PLAN			
<input type="text"/>			
5. ✦ APPROVAL SIGNATURES: FOR ALL INTERVAL EXTENSIONS <i>Do not sign until section/s you are responsible for are complete!</i>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Equipment Owner (Production Leader / Department Head) / Employee Number / Date		EH&S Delivery Leader or Responsible Care Leader / Employee Number / Date	
6. ✦ ADDITIONAL APPROVAL SIGNATURES: For Interval Extensions >10% up to 20% <i>Note: An RBI / RBMI inspection deferral that meets the risk criteria, but is > 2x the inspection interval in GMISS Table 4 requires this approval.</i>			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Business Manufacturing Leader / Employee Number / Date		Process Safety Technology Leader / Employee Number / Date	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Site Leader / Employee Number / Date			

✦ Electronic Signature Requires Name, Employee Number, and Date by that person, or another receiving approval by phone, e-mail, or verbally.
 Note: Send completed form to the Maintenance Representative who updates GEMTS and then sends the form to the Mechanical Integrity Equipment File Administrator. This form shall be permanently filed in the Mechanical Integrity Equipment File.

- Archivo Excel “Ensayos PSV’s Consolidado”, con la completa información exhaustiva de ensayos de válvulas y procedimiento de solución para desarrollo de la propuesta.
- Archivo Excel “Listado PSV’s COK-HDT-TMTO-COG r1”, de elaboración de ENAP – Refinería Bio Bio, con el listado de PSV’s a realizar mantenimiento durante el proceso de detención de planta del año 2022.
- Archivo Excel “Formato procedimiento Mantención PSV's Detención 2022”, el cual es un archivo de elaboración propia, creado durante la etapa de práctica, con la finalidad de obtener un registro de PSV inspeccionadas por planta junto con su porcentaje de avance diario.